

**Rasterelektronenmikroskopische Untersuchung zur Qualität der  
Aufbereitung und Reinigung des Wurzelkanals**

**D i s s e r t a t i o n**

zur Erlangung des akademischen Grades  
doctor medicinae dentariae (Dr. med. dent.)

vorgelegt dem  
Rat der Medizinischen Fakultät der Friedrich-Schiller-Universität Jena

von  
Berit Muselmani  
geboren am 09.02.1966 in Kahla

Jena 2007

## **Gutachter**

1. Prof. Dr. Eike Glockmann, Universität Jena
2. Prof. Dr. Susanne Kneist, Universität Jena
3. PD Dr. Petra Hahn, Universität Freiburg

**Tag der öffentlichen Verteidigung: 06. November 2007**

Inhaltsverzeichnis		Seite
Abkürzungsverzeichnis		
Abbildungsverzeichnis		
Tabellenverzeichnis		
1	Zusammenfassung	1
2	Einleitung	3
2.1	Anatomische Grundlagen des Wurzelkanals	3
2.2	Ziele der Wurzelkanalaufbereitung	7
2.3	Zur Wurzelkanalaufbereitung	10
2.3.1	Instrumentelle Wurzelkanalaufbereitung	10
2.3.1.1	Instrumentarium und Techniken der manuellen Wurzelkanalaufbereitung	11
2.3.1.2	Instrumentarium der maschinellen Wurzelkanalaufbereitung	15
2.3.1.2.1	Wurzelkanalaufbereitung mit Nickel-Titan-Systemen	16
2.3.1.2.1.1	Endodontiemotorsysteme als Antriebshilfen für Wurzelkanalinstrumente aus Nickel-Titan	19
2.3.1.2.1.2	Winkelstücke mit integrierter Drehmomentbegrenzung als Antriebshilfen für Wurzelkanalinstrumente aus Nickel-Titan	23
2.3.1.2.2	Wurzelkanalaufbereitung mit Schall oder Ultraschall aktivierten Geräten	25
2.3.2	Nichtinstrumentelle Wurzelkanalaufbereitung	26
2.3.2.1	Wurzelkanalaufbereitung mit Lasern	26
2.3.2.2	Hydrodynamische Wurzelkanalaufbereitung	27
2.3.2.3	Elektrochirurgiesystem	27
2.3.2.4	Depotphorese	28
2.3.3	Chemische Wurzelkanalaufbereitung	28

3	Zielstellung	35
4	Klinisch-experimentelles Vorgehen	36
4.1	Voruntersuchungen und Vorbereitung der Zähne	36
4.2	Untersuchungsgruppen	38
4.2.1	Die manuelle Wurzelkanalaufbereitung	41
4.2.2	Die maschinelle Wurzelkanalaufbereitung	43
4.2.2.1	<i>VDW FlexMaster</i> -System	43
4.2.2.2	<i>KaVo ENDOflash</i> -System	46
4.2.2.2.1	Die „ <i>Step-back-Technik</i> “	49
4.2.2.2.2	Die <i>Modifizierte „Crown-down-Technik</i> “	49
4.2.2.3	<i>K3</i> -System	50
4.3	Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen	51
4.3.1	Bewertung von Debris und Schmierschicht	52
4.3.2	Bewertung von Oberflächenbeschaffenheit und <i>Foramen apicale</i>	55
4.4	Statistische Methoden	55
5	Ergebnisse	56
5.1	Gesamtbewertung verschiedener Wurzelkanalaufbereitungsverfahren	56
5.2	Bewertung der manuellen <i>versus</i> maschinellen Wurzelkanalaufbereitung	63
5.3	Zur Bewertung von Edelstahl- <i>versus</i> NiTi-Instrumenten	66
5.4	Zur Bewertung des Einflusses der Aufbereitungstechniken	69
5.5	Zur Bewertung des Einflusses der Instrumentenkonizität und Aufbereitungstechniken	72
5.6	Synopsis der Ergebnisse	75

6	Diskussion	77
6.1	Zur Bewertung des Studiendesigns	77
6.2	Zur Bewertung der Parameter Debris, Schmierschicht, Oberflächenbeschaffenheit und <i>Foramen apicale</i>	80
6.3	Zur Bewertung der Rangfolge der Wurzelkanalaufbereitungsverfahren	84
6.4	Zur Bewertung der manuellen <i>versus</i> maschinellen Wurzelkanalaufbereitung	90
6.5	Zur Bewertung von Edelstahl- <i>versus</i> NiTi-Instrumenten	91
6.6	Zur Bewertung der Aufbereitungstechniken auf die Reinigungswirkung im Wurzelkanal	93
6.7	Zur Bewertung des Einflusses der Instrumentenkonizität	95
6.8	Schlussbetrachtung	96
7	Schlussfolgerungen	97
8	Literatur	98
9	Anhang	111
	Einzelbefunde	
	Danksagung	
	Lebenslauf	
	Ehrenwörtliche Erklärung	

## Abkürzungsverzeichnis

a	Apikal
BFT	<i>Modifizierte „Balanced-force-Technik“</i>
CDT	<i>Modifizierte „Crown-down-Technik“</i>
CHX	Chlorhexidindigluconat
CS	Kohlenstoffstahl
EDTA	Ethyldiamintetraessigsäure
ES	Edelstahl
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Wasserstoffperoxid
ISO	International Standardisation Organisation
k	Koronal
KT	<i>„Konventionelle-Technik“</i>
m	Mitte
MTAD	M = Mixture, T = Tetracyclin, A = Acid, D = Detergens
NaCl	Natriumchlorid
NaOCl	Natriumhypochlorit
NiTi	Nickel-Titan
SBT	<i>„Step-back-Technik“</i>
SD	Standardabweichung
WK	Wurzelkanal
WKA	Wurzelkanalaufbereitung
WKB	Wurzelkanalbehandlung
WKF	Wurzelkanalfüllung

## 1 Zusammenfassung

Die Praxistauglichkeit endodontischer Aufbereitungssysteme wird von der Reinigungswirkung, Formgebung und Arbeitssicherheit des endodontischen Instrumentariums bestimmt.

Die vorliegende In-vitro-Studie sollte bei standardisierter Wurzelkanalspülung der Effizienz der maschinellen Instrumentation im Vergleich zur manuellen Wurzelkanalaufbereitung in gekrümmten Wurzelkanälen nachgehen. Zu diesem Zweck wurde die Bewertung der Wurzelkanaloberflächen nach Hülsmann et al. (1997) hinsichtlich der Kriterien Debris (**Grad 0 – 4**), Oberflächenbeschaffenheit (**Grad 1 – 3**), Schmierschicht (**Grad 0 – 4**) und *Foramen apicale* (**Grad 0 – 2**) rasterelektronenmikroskopisch vorgenommen.

40 Wurzelkanäle wurden nach 8 verschiedenen Aufbereitungsmethoden (**Gruppe 1:** Modifizierte „*Balanced-force-Technik*“, *K-Flexoreamer*, **Gruppe 2:** Modifizierte „*Balanced-force-Technik*“, *K-Flexofile*, **Gruppe 3:** Modifizierte „*Crown-down-Technik*“, *FlexMaster*, **Gruppe 4:** „*Step-back-Technik*“, *Edelstahl-ENDOfash*, **Gruppe 5:** Modifizierte „*Crown-down-Technik*“, *Edelstahl-ENDOfash*, **Gruppe 6:** „*Step-back-Technik*“, *Nickel-Titan-ENDOfash*, **Gruppe 7:** Modifizierte „*Crown-down-Technik*“, *Nickel-Titan-ENDOfash*, **Gruppe 8:** Modifizierte „*Crown-down-Technik*“, *K3*) bearbeitet, so dass in 40 Fällen die Innenkurvatur und in 40 Fällen die Aussenkurvatur bewertet werden konnte.

Unabhängig von den Wurzelkanalaufbereitungsverfahren kam Debris in den Graden 0 bis 2 vor. Auf den Oberflächen der inneren und äußeren Wurzelkanaldrittel lag von koronal nach apikal in der Regel kaum bzw. nur ein leichter Anstieg vor. Bei Betrachtung der verschiedenen Verfahren lagen nur in den Gruppen 1 (Modifizierte „*Balanced-force-Technik*“, *K-Flexoreamer*), 2 (Modifizierte „*Balanced-force-Technik*“, *K-Flexofile*) und 5 (Modifizierte „*Crown-down-Technik*“, *Edelstahl-ENDOfash*) mittlere Werte für Debris von > 1 apikal an den Innenflächen vor.

Die Oberflächenbeschaffenheit lag in den Graduierungen 1 und 2 vor. Sie verschlechterte sich von koronal nach apikal an der äußeren Wurzelkanalhälfte in allen Gruppen – mit Ausnahme der Gruppe 8 (Modifizierte „*Crown-down-Technik*“, *K3*).

Die Schmierschicht war in den Graduierungen von 0 bis 3 vorhanden. Von koronal nach apikal nahm die Schmierschicht generell zu und erreichte im Mittel den Grad 2; die Werte der Gruppe 3 (Modifizierte „*Crown-down-Technik*“, *FlexMaster*) lagen am höchsten.

Bei der Entfernung der Debris erwies sich die maschinelle Aufbereitung im apikalen Drittel der Innenkurvatur ( $p = 0,031$ ) wirkungsvoller als die manuelle Variante; weiterhin wies die

Kanalwand des apikalen Kanalabschnittes der Außenkurvatur weniger Aufbereitungsspuren auf ( $p = 0,018$ ) und zeigte keine Verblockungen im Bereich des *Foramen apicale* ( $p = 0,005$ ). Die manuelle Wurzelkanalaufbereitung hinterließ dagegen im apikalen und mittleren Drittel ( $p = 0,014$ ,  $p = 0,010$ ) der Außenkurvatur weniger Schmierschicht.

Nach Anwendung von NiTi-Instrumenten war im apikalen Abschnitt der Innenkurvatur weniger Debris ( $p = 0,004$ ) zu finden, und das apikale Drittel der Außenkurvatur zeigte eine glattere Oberfläche ( $p = 0,017$ ). In fast allen Kanalwandabschnitten wurde nach der Verwendung von Edelstahlfeilen weniger Schmierschicht nachgewiesen (Innenkurvatur: Koronal  $p = 0,001$ , Mitte  $p = 0,000$ , Apikal  $p = 0,008$ , Außenkurvatur: Mitte  $p = 0,012$ , Apikal  $p = 0,001$ ).

Nach *Modifizierter „Balanced-force-Technik“* und *„Step-back-Technik“* war im mittleren Drittel der Innenkurvatur weniger Debris als nach der Anwendung der *Modifizierten „Crown-down-Technik“* ( $p = 0,033$ ) vorhanden. Beide Aufbereitungstechniken hinterließen auf der gesamten Außenkurvatur (Koronal  $p = 0,002$ , Mitte und Apikal  $p = 0,000$ ) sowie im apikalen Bereich ( $p = 0,024$ ) der Innenkurvatur nur geringe Mengen an Schmierschicht. Im Bereich des *Foramen apicale* erwies sich die *„Step-back-Technik“* ( $p = 0,009$ ) als die beste Vorgehensweise. Der apikale Wurzelkanalabschnitt der Außenkurvatur zeigte nur nach Anwendung der *Modifizierten „Crown-down-Technik“* keine Aufbereitungsspuren ( $p = 0,041$ ).

Die Qualität der Oberflächenbeschaffenheit in beiden apikalen Kanalabschnitten war nach maschineller Anwendung von Instrumenten (Taper  $> .02$ ) am besten ( $p = 0,000$ ). Im apikalen und mittleren Drittel der Außenkurvatur ( $p = 0,000$ ,  $p = 0,001$ ) lagen die niedrigsten Befunde zur Schmierschicht nach manueller Aufbereitung mit Instrumenten (Taper =  $.02$ ) vor, während die Befunde nach maschineller Anwendung von Instrumenten (Taper =  $.02$ ) im apikalen Drittel der Innenkurvatur und im Bereich des *Foramen apicale* besser ausfielen ( $p = 0,009$ ,  $p = 0,027$ ).

Synoptisch betrachtet führten in der vorliegenden Untersuchung alle Wurzelkanalaufbereitungen zu einem akzeptablen Ergebnis. Es konnte nach statistischer Ergebnissbewertung gezeigt werden, dass die Wurzelkanalaufbereitung mit Edelstahlinstrumenten der Aufbereitung mit Nickel-Titan-Instrumenten hinsichtlich der Reinigungsleistung überlegen ist. Die Irrigation des Wurzelkanals hat entscheidende Bedeutung für die Entfernung von Debris, während zur Auflösung der Schmierschicht chemische Aufbereitungshilfen nötig sind.



## 2 Einleitung

### 2.1 Anatomische Grundlagen des Wurzelkanals

Ausführliche Beschreibungen, Modelle und Bilder menschlicher Wurzelkanäle und Wurzelkanalsysteme gehen auf Preiswerk (1901), Hess (1917), Meyer und Scheele (1955) und Reuver (2005 a, b, c) zurück, die darauf hinwiesen, dass sich die idealisierte Darstellung des Wurzelkanals in Lehrbüchern von der Wirklichkeit unterscheidet.

So ist der Wurzelkanal nach Meyer (1960) kein einfaches, gerades, parallelwandiges, monotones Rohr mit rundem Querschnitt (Abb. 1), sondern in aller Regel vielgestaltig und schwer vorhersagbar (Nolden 1994, Voß 1995, Schäfer 2001). Meyer und Hülsmann (1991) beschreiben den Wurzelkanal als ein morphologisch höchst differenziertes Kanalsystem, das sich in jedem menschlichen Zahn anders darstellt, und Tepel et al. (1993) bezeichnen es in jedem Fall als ein Unikat.



**Abbildung 1:** Wachsrekonstruktion eines Wurzelkanalsystems nach Meyer (1955; zitiert aus Heidemann 2001)

Sowohl bei einwurzeligen Frontzähnen, Prämolaren als auch innerhalb einer Wurzel der Molaren können verschiedene Wurzelkanalkonfigurationen vorkommen (Tab. 1, Abb. 2).

Das Endodont stellt wie in Abbildung 3 wiedergegeben, vor allem in der Apikalregion ein höchst komplexes dreidimensionales Kanalsystem mit zahlreichen Seitenkanälen, Buchten und Nischen, blind endenden Divertikeln und Anastomosen (feine oder isthmusartige Verbindungen) der einzelnen Kanäle untereinander dar (Hülsmann 2001, Schäfer 2001).

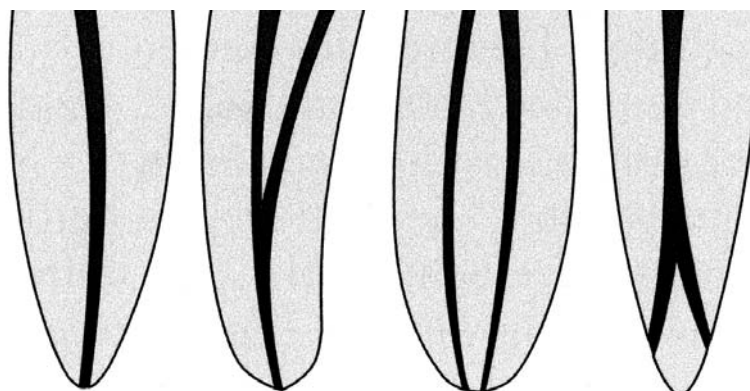
Der Kanalquerschnitt ist in den meisten Kanalanteilen unrund, gewöhnlich flach länglich mit einem bukkolingualen Durchmesser größer dem mesiodistalen (Voß 1995), oval–elliptisch, selten dreieckig, c-förmig oder irregulär (Baumann 1995, Bartha et al. 2004).

**Tabelle 1:** Möglichkeiten der Wurzelkanalkonfigurationen innerhalb einer Wurzel (Weine 1989)

---

<b>Typ I</b>	Ein Kanal, ein Foramen
<b>Typ II</b>	Zwei Kanäle, die sich vor dem Apex vereinigen und ein gemeinsames Foramen haben
<b>Typ III</b>	Zwei Kanäle, zwei getrennte Foramina
<b>Typ IV</b>	Ein Kanal, der sich vor dem Apex in zwei Kanäle verzweigt

---



**Abbildung 2:** Die idealisierten Typen der Wurzelkanalkonfiguration innerhalb einer Wurzel (von links nach rechts Typ I, II, III, IV) (zitiert aus Koçkan 2003)



**Abbildung 3:** Komplizierte Topographie der Pulpa bzw. der Wurzelkanäle (zitiert aus Nolden 1994)

Aufgrund dieser äußerst unregelmäßigen Form, insbesondere bei Prämolaren und Molaren, wird treffender anstelle des Begriffs „Wurzelkanal“ vom „Wurzelkanalsystem“ gesprochen

(Schäfer 2001). Zu allen die Zahnwurzel umgebenden Gewebestrukturen hin ist das Kanalsystem offen (Meyer und Hülsmann 1991, Hülsmann 2001).

Die Wurzeln sind abweichend von der Längsachse der Krone deutlich nach distal abgebogen („allgemeines Wurzelmerkmal“) (Meyer 1960). Durch klinisch-röntgenologische Untersuchungen von extrahierten Zähnen konnte gezeigt werden, dass sich Wurzelkanalkrümmungen nicht nur in der mesio-distalen Ebene befinden, sondern in noch größerer Variationsbreite in der bukkal-lingualen Ebene vorkommen (Briseño 1992, Voß 1995). So ist die Wurzel des oberen seitlichen Schneidezahnes häufig nach palatinal und die palatinale Wurzel der oberen Molaren nach bukkal gekrümmt (Buchanan 1989).

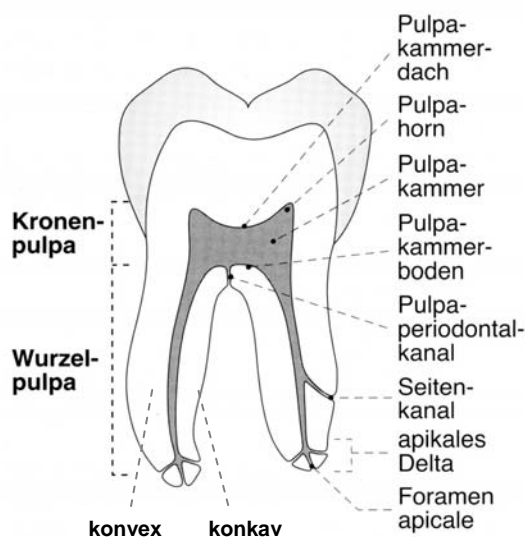
Der Begriff Apex umfasst mehr als nur die äußere Form der Wurzelspitze – also nicht nur deren Makroskopie (Peccioni 1982). Die engste Stelle des Wurzelkanals, im Mittel 0,8 mm vom *Foramen apicale* entfernt (Voß 1995) und in der Regel die Zement-Dentin-Grenze, wird als physiologischer Apex (*Foramen physiologicum*) oder endodontischer Apex bezeichnet. Der Durchmesser des Wurzelkanals beträgt an dieser Stelle etwa 0,15 bis 0,25 mm, wobei sich die Konstriktion mit zunehmenden Alter verengt. Die Stelle des Zahnes, die sich im Röntgenbild darstellt, wird als röntgenologischer (radiologischer) Apex bezeichnet (Hellwig et al. 1999).

Durch funktionelle Einflüsse wie Zungendruck, okklusale Belastung oder Mesialwanderung des Zahnes kommt es zu Apposition und Resorption des den Apex umschließenden Wurzelzementes und damit zur Form- und Lageveränderung der Wurzelspitze zur Zahnachse, da das eintretende Gefäßnervenbündel stationär bleibt. 83 % der *Foramina* liegen deshalb nicht unmittelbar am anatomischen Apex, sondern 0,5 bis 3 mm davon entfernt (Pineda und Kuttler 1972).

Das *Foramen apicale* befindet sich nur selten an der Wurzelspitze, sondern in der Regel seitlich davon und stellt sich zum Parodontium hin als breit eröffneter Trichter dar (Meyer 1960).

In mehr als 70 % der Fälle sind im apikalen Bereich deltaförmige Aufgabelungen des Hauptwurzelkanals (apikale Ramifikationen, apikale Delta) vorhanden (Meyer 1960, Hellwig et al. 1999) und, wie Abbildung 4 zeigt als zahlreiche kleinere Mündungen (periphere Foramina) am *Foramen apicale* erkennbar (Schäfer 2001). Seitenkanäle, die im koronalen oder mittleren Wurzeldrittel den Hauptwurzelkanal verlassen, verlaufen als laterale oder sekundäre Kanäle horizontal. Sie kommen bei etwa 70 % aller Zähne vor; bei Frontzähnen sind sie seltener als bei Molaren (Hellwig et al. 1999, Schäfer 2001).

Der Bifurkationsbereich der Molaren weist Verbindungen zwischen Pulpa und Parodontium auf (Pulpaperiodontalkanäle, Markkanäle, Furkationskanäle) (Hellwig et al. 1999). Etwa 25 bis 65 % aller bleibenden Molaren und etwa 20 bis 35 % aller Milchmolaren zeigen durchgängige, 40 bis 250 µm dicke akzessorische Kanäle, die vom Boden des Kronenkavums, der interradiikulären Dentinschicht, bis zur Furkation ziehen (Schroeder 1991).



**Abbildung 4:** Schematische Darstellung eines Molaren mit akzessorischen Kanälen und apikalem Delta (zitiert aus Hellwig et al. 1999)

Wurzelkrümmungen werden heute auf Grund ihrer Häufigkeit als physiologisch angesehen; Unterkiefermolaren besitzen immer gekrümmte Wurzeln (Cunningham und Senia 1992). Die Krümmung kann im koronalen, mittleren oder apikalen Drittel lokalisiert sein oder ist über mehrere Abschnitte verteilt. Im apikalen Kanaldrittel besitzen 85 % der Kanäle Krümmungen.

Der konkave Anteil der Kanalwand wird als innere Krümmatur, der konvexe Teil als äußere Krümmatur bezeichnet (Abb. 4). Das Ausmaß der Krümmung ist abhängig vom Krümmungsradius und von der Länge des Krümmungsbogens.

Kanäle mit Krümmungswinkeln bis 5° gelten als gerade, bis zu 25° sind sie mäßig gekrümmt und mit Biegungen darüber gelten sie als stark gekrümmt.

Zahntypen, wie obere seitliche Schneidezähne oder Molaren (mesiale Wurzeln), besitzen häufiger gekrümmte Wurzelkanäle als andere Zahntypen (Kuttler 1955).

Wurzelkanäle menschlicher Unterkiefermolaren weisen nach Lim und Stock (1987) in 20 % der Fälle in der mesialen Wurzel Krümmungen von 30° bis 39° auf, so dass mit derartigen Krümmungen durchaus zu rechnen ist. In Ausnahmefällen (2 % der Fälle) kommen sogar Kanalkrümmungen zwischen 40° und 49° vor. Andererseits liegen in 18 % der Fälle

Kanalkrümmungen zwischen  $10^\circ$  und  $19^\circ$ . Am häufigsten (60 % der Fälle) liegen die Kanalkrümmungen aber zwischen  $20^\circ$  und  $29^\circ$  (Jungmann et al. 1975, Lim und Stock 1987).

Buchanan (2001) differenziert aus therapeutischer Sicht zwischen „kleinen und großen Wurzeln“ (Tab. 2), die sich in ihren Charakteristika unterscheiden.

**Tabelle 2:** Einteilung der Wurzeln nach Buchanan (2001)

Große Wurzeln	Kleine Wurzeln
Untere Eckzähne	Untere Frontzähne
Obere Front- und Eckzähne	Zwei- und dreikanalige Prämolaren
Obere und untere einkanalige Prämolaren	Bukkale Wurzeln oberer Molaren
Palatinale Wurzeln oberer Molaren	Mesiale Wurzeln unterer Molaren
Distale Wurzeln unterer Molaren	

Große Wurzeln haben normalerweise große Durchmesser in der koronalen Hälfte sowie Durchmesser von 0,25 bis 0,35 mm im apikalen Bereich mit relativ geringen Krümmungen. Kleine Wurzeln verfügen hingegen über geringe Durchmesser in der koronalen Hälfte und im apikalen Drittel über Durchmesser von 0,15 bis 0,20 mm mit leichten bis ausgeprägten Krümmungen (Brendel 2001, Buchanan 2001).

## 2.2 Ziele der Wurzelkanalaufbereitung

Ziele und Anforderungen an eine Wurzelkanalaufbereitung wurden im Konsenspapier der Europäischen Gesellschaft für Endodontologie (ESE) 1993 formuliert. Sie umreißen den aktuellen Therapiestandard.

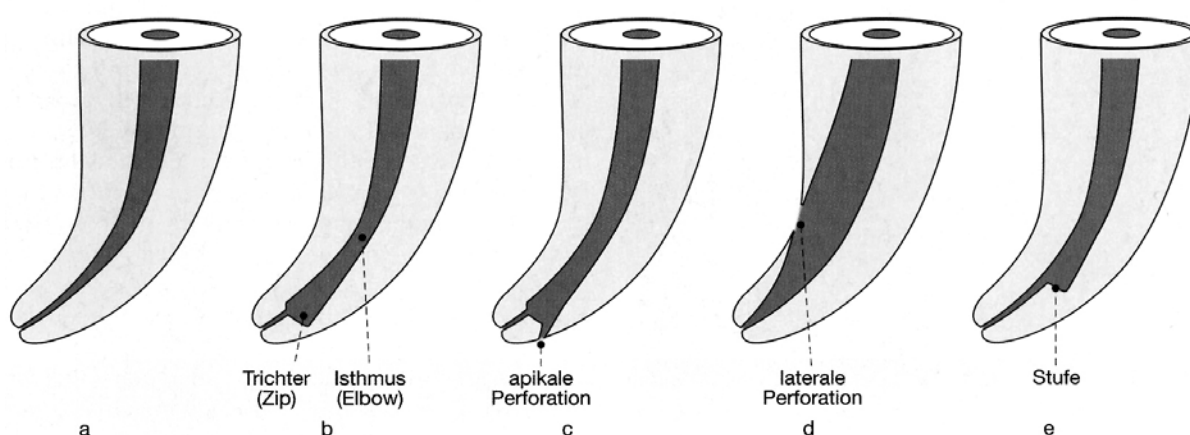
Ziele der Wurzelkanalbehandlung sind danach:

- Entfernung des verbliebenen Pulpagewebes.
- Eliminierung der Mikroorganismen.
- Entfernung von Debris.
- Eine adäquate Wurzelkanalfüllung ermöglichende Formgebung des Wurzelkanals.

Die Anforderungen an eine Wurzelkanalaufbereitung leiten sich wie folgt ab:

- Der präparierte Kanal umschließt den ursprünglichen Kanal.
- Erhalt der apikalen Konstriktion.
- Verengung des Wurzelkanals nach apikal.
- Konischer Verlauf des Wurzelkanals von koronal nach apikal.

Während der Präparation des Wurzelkanals können eine Reihe unterschiedlichster Fehler und Probleme auftreten, die den Therapieerfolg gefährden und im Einzelfall sogar die Extraktion oder chirurgische Behandlung des Zahnes nach sich ziehen können (Abb. 5).



**Abbildung 5:** Schematische Darstellung der häufigsten Präparationsfehler bei der Aufbereitung gekrümmter Wurzelkanäle: Präoperativer Verlauf des Wurzelkanals (a), Apikaler „Zip“, „Elbow“ (b), Apikale Perforation (c), Laterale Perforation (d), Stufenbildung (e) (nach Weine et al. 1970, 1975, 1976, zitiert aus Heidemann 2001)

Bei der rotierenden Aufbereitung kann der sog. „taperlock“ Effekt auftreten. Die Verwendung von besonders gleichmäßig geformten Instrumenten mit langem Arbeitsteil (*FlexMaster*/VDW GmbH, D-München, *ProFile*/Maillefer Dentsply, CH-Ballaigues) birgt die Gefahr eines Verkeilens an der Kanalwand (Bargholz et al. 2006). Irregularitäten und Krümmungen in den koronalen Dritteln, welche die Feile zur vorzeitigen Friktion („taperlock“) bringen könnten, müssen daher frühzeitig beseitigt werden (Steier und Beer 2006a, b).

Die wichtigste Präventionsmaßnahme stellt in allen Fällen die Festlegung eines individuellen Präparationskonzeptes für den einzelnen Zahn bzw. Wurzelkanal dar (Glickman und Dumsha 1988, Frank 1994).

Als Idealzustand wird eine von allen Rückständen und Ablagerungen befreite Wurzelkanalwand mit freiliegenden, nicht verholzten Dentintubuli angesehen.

Allein mit Aufbereitungsinstrumenten ist es aber nicht möglich, alle Bereiche des Endodontes ausreichend zu bearbeiten, es bleiben immer unterschiedlich ausgedehnte nicht instrumentierte Wandbezirke zurück (Reuver 2005a, b, c).

Nach instrumenteller Bearbeitung ist die Kanalwand mit Debris und einer Schmierschicht („smear layer“) bedeckt.

Debris sind lockere, schollenförmige Auflagerungen an der Kanalwand, die aus instrumentell abgeschabtem Dentin, Resten von Pulpagewebe und evtl. Bakterien bestehen. Da die Späne der Kanalwand nur locker aufliegen, besteht die Gefahr, dass sie während der Aufbereitung von den Instrumenten nach apikal gestoßen werden und die Apikalregion verbolzen („apical plug“) oder gar über das *Foramen physiologicum* hinaus in die periapikalen Gewebe gepresst werden und dort eine Entzündungsreaktion („flare-up“) auslösen können.

Sekundär entsteht in den Bereichen, die mechanisch mit Aufbereitungsinstrumenten, ob per Hand, maschinell oder Schall/Ultraschall bearbeitet wurden, die bereits erwähnte Schmierschicht (Koçkapan 1995). Maschinelle Aufbereitungssysteme erzeugen zumeist eine dickere Schmierschicht als die manuelle Instrumentierung (Schäfer und Zapke 1999, 2000a, b).

Wurzeldentin, Gewebereste der Pulpa und des Prädentins sowie Odontoblastenfortsätze werden zerkleinert. Ein Teil davon wird durch die Instrumente selbst oder durch die Spülung aus dem Wurzelkanal herausbefördert. Ein kleiner Teil bleibt aber auf der Wurzelkanalwand liegen. Dieser wird bei Benutzung der nächsten Instrumentengröße an die Kanalwand gepresst und nach Koçkapan (1995) und Hülsmann (2001) 5 bis 40 µm in die Dentintubuli hineingedrückt. Die aus organischen und anorganischen Bestandteilen zusammengesetzte Schmierschicht enthält bei infizierter Pulpa oder Gangrän darüber hinaus Bakterien. Die Schmierschicht besteht weiterhin aus einer oberflächlichen Schicht, die die Kanalwand bedeckt und einer darunter liegenden, locker mit dem Dentin verbundenen Schicht (Koçkapan 1995, Hülsmann 2001).

Nach Schädle et al. (1990) bleibt wenig Schmierschicht zurück, wenn das Instrument die Oberfläche wenig erfasste oder mit dem Instrumentarium die Schmierschicht entfernt wurde.

Die Schmierschicht ist im Lichtmikroskop nicht erkennbar, weil sie bei der Herstellung von Paraffinschnitten verloren geht. Sie wurde daher erst bei rasterelektronenmikroskopischen Untersuchungen von bearbeiteten Zahnhartsubstanzoberflächen entdeckt (Koçkapan 1995). Sie hat eine relativ glatte Oberfläche, wobei die Eingänge der Dentintubuli durch Verlegung mit abgeriebenem Dentin oder durch Verquetschung kaum noch zu sehen sind. Kleine unregelmäßige Risse auf der Oberfläche können durch Schrumpfung der organischen

Komponente während der Trocknung der Präparate auftreten. Erst die stärkeren Vergrößerungen lassen erkennen, dass die Schmierschicht aus unzähligen kleinen Partikeln besteht. Die Struktur der Verbolzungen („smear plugs“) wird als grobkörnig beschrieben, weil im Gegensatz zur Oberfläche der Kanalwand die brünierende Wirkung des Instruments fehlt (Koçkapan 1995).

Die Permeabilität des Dentins wird durch die Entfernung der Schmierschicht gesteigert. Ob die Schmierschicht bei der Wurzelkanalbehandlung entfernt werden sollte oder nicht wird bis heute kontrovers diskutiert (Koçkapan 1995, Zachareo et al. 2003). So würde bei einer Vitalexstirpation mit anschließender Wurzelfüllung die verschmierte, glatte und trockene Kanalwand nicht stören, zumal steriles und zermahlenes Dentin biokompatibel sein dürfte (Kröncke 1975, Konopelski und Kröncke 1979).

Bei einer Gangrän, bei der bakteriell infiziertes und erweichtes Kanalwanddentin vorliegt, sieht die Situation anders aus (Petschelt und Oberschachtsiek 1985b). Bereits Eberly betonte 1898 dazu: „Wichtiger, als das was man in den Wurzelkanal hineinfülle, sei das, was man vorher aus ihm heraushole.“ (Meyer und Hülsmann 1991). Da diese Schmierschicht die Dichtigkeit der Wurzelkanalfüllung herabsetzt und Quelle einer Reinfektion des Endodontes sein kann, sollte sie aus heutiger Sicht durch Spülungen mit adäquaten Agenzien weitgehend entfernt werden (Schwarze 1998, Hülsmann 2001).

## **2.3 Zur Wurzelkanalaufbereitung**

Die Wurzelkanalaufbereitung kann sowohl instrumentell (manuell, maschinell) als auch nichtinstrumentell durchgeführt werden. Ein wesentlicher Bestandteil der instrumentellen/mechanischen Wurzelkanalaufbereitung ist die Spülung des Wurzelkanals mit antibakteriell wirksamen und Gewebe auflösenden Spülflüssigkeiten, das chemische Debridement, dass als chemo-mechanische Präparation bezeichnet wird und von vielen Autoren als wichtigster Schritt der endodontischen Behandlung angesehen wird (Stewart 1955, Schilder 1974, Cunningham et al. 1982a, b, Tronstad et al. 1985).

### **2.3.1 Instrumentelle Wurzelkanalaufbereitung**

Die mechanische Formgebung und Reinigung des Wurzelkanals erfolgt mit Handinstrumenten und/oder maschinengetriebenen Instrumenten. Die Auswahl der Instrumente ist abhängig von der Aufbereitungstechnik, Form und Krümmung der Wurzel



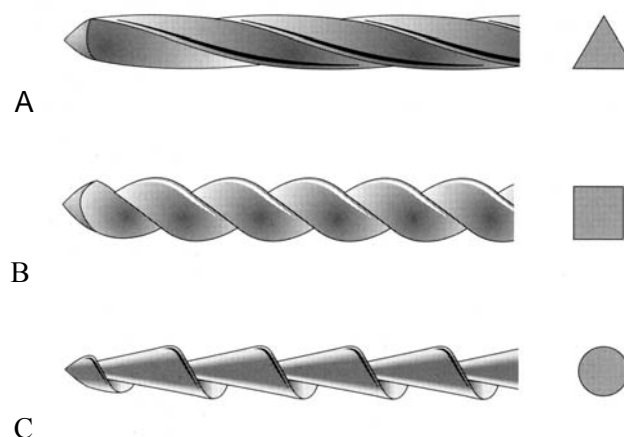
und letztlich den Vorlieben des Behandlers (Hellwig et al. 1999). Das erste Aufbereitungsinstrument – eine kleine Uhrfeder als Reibahle umgearbeitet – geht auf Edward Maynard um 1834 zurück (Hülsmann 1996).

Ein Wurzelkanalinstrument ist praxistauglich, wenn sich damit eine Vielzahl von Wurzelkanalsystemen aufbereiten läßt und unabhängig davon ein vollständiges Debridement erreicht wird (Schädle et al. 1990). Da es aber bis heute keine Ideal- oder Universalfeile gibt, lassen sich um so mehr klinische Situationen und Probleme lösen, je mehr Instrumente dem Behandler zur Verfügung stehen und von ihm beherrscht werden (Hülsmann 2001).

### 2.3.1.1 Instrumentarium und Techniken der manuellen Wurzelkanalaufbereitung

Grundsätzlich sind Wurzelkanalinstrumente mit umlaufenden Schneiden von solchen mit nicht umlaufenden Schneiden zu unterscheiden (Tepel 2000).

Beim endodontischen Instrumentarium mit umlaufenden Schneiden gibt es im Wesentlichen drei Grundtypen, nämlich die Hedstroem-Feile (H-Feilen, Feilen Typ H), den K-Reamer (K-Bohrer, Räumer, Reibahlen Typ K) und die K-Feile (Feilen Typ K) (Abb. 6). Sie besitzen Schneiden in immer gleichem Abstand und ähneln damit im Aufbau dem einer Schraube.



**Abbildung 6:** Grundformen des endodontischen Instrumentariums mit umlaufenden Schneiden K-Reamer (A), K-Feile (B), Hedstroem-Feile (C; zitiert aus Hellwig et al. 1999)

Es ist ein Verdienst von Ingle (1955), dass heute standardisierte Aufbereitungsinstrumente hergestellt werden. Internationale Normen (ISO-Standard 3630-1), erarbeitet von dem Technischen Komitee 106 der International Standardisation Organisation (ISO), definieren

exakt die Maße (Längen und Dicken), die Toleranzen, die Farbkodierung und die Mindestanforderungen an die mechanische Belastbarkeit (Koçkapan 2003).

Hedstroem-Feile, K-Reamer und K-Feile werden bei einer totalen Länge des Arbeitsteils von 16 mm pro mm um 0,02 mm dicker. Dies entspricht einer Konizität, dem Zuwachs von Durchmesser (engl. Taper) von 2 %. Ein Instrument mit der Größe 015 ist an der Spitze 15/100 mm also 0,15 mm dick. Am Ende der Schneide ist es  $16 \times 0,02 \text{ mm} = 0,32 \text{ mm}$  dicker, also  $0,15 \text{ mm} + 0,32 \text{ mm} = 0,47 \text{ mm}$  (Baumann 2001b). Die Abweichung von der Norm darf nicht mehr als  $\pm 0,020 \text{ mm}$  betragen (Städtler und Jeglitsch 1993).

Bei den Instrumenten mit nicht umlaufenden Schneiden gibt es zwei Typen: die Raspeln (Rattenschwanzfeile) und die diamantierten Instrumente.

Die einstmals häufig verwendeten Raspeln (Haunfelder 1958) sind heute völlig bedeutungslos geworden, und diamantierte Instrumente werden ausschließlich bei der Wurzelkanalaufbereitung mit Ultraschall eingesetzt (Tepel 2000).

Neuentwicklungen basieren vornehmlich auf neuen Materialien. Bis zur Mitte des 20. Jahrhunderts wurden Wurzelkanalinstrumente im Wesentlichen aus Kohlenstoffstählen und danach auch aus Edelstählen angefertigt. Jüngste Entwicklungen sind Instrumente aus verschiedenen Titanlegierungen (Schäfer 1995a, b) bzw. mit neuer Instrumentengeometrie (Schäfer 1995a, b, Schäfer 1996a, Hülsmann 2001).

Zu den Neuentwicklungen zählen:

1. Flexible Edelstahlinstrumente mit herkömmlicher Spitze (*Flexicut, K-Flex*)
2. Flexible Edelstahlinstrumente mit modifizierter, nichtschneidender Spitze (Battspitze) (*Flex-R-Feile, Flexoreamer, Flexofile*)
3. Instrumente aus hochflexiblem Nickel-Titan (*Mity K-Feile, NiTi K-Feile, Ultra-Flex K-Feile*)
4. Instrumente aus hochflexibler Titan-Aluminium-Legierung (*Microtitane*)
5. Größere Konizität der Instrumente als bei ISO-Instrumenten (*Taper .04 und .06 und mehr*)
6. Modifikation der ISO-Norm (*Profile 29*)
7. Instrumente mit verkürztem Arbeitsteil (*Canal Master U, Flexogates, Heliapical*)
8. Zwischengrößen (*Golden Mediums, ES-K-Feile, Canal Master U*)
9. Spezielle Instrumente (*Deepstar, Farside, Pathfinder, Safety-Hedstroem-Feilen*)

Das erste Wurzelkanalaufbereitungsinstrument aus Nickel-Titan stellten Walia et al. (1988) vor, das bei der Aufbereitung gekrümmter Kanäle unerwünschte Abweichungen vom originären Kanalverlauf vermeiden sollte (Schäfer 1995b).

Im endodontischen Schrifttum werden zahlreiche Aufbereitungstechniken beschrieben (Tab. 3). Ein Trend weg von den apikal-koronalen Aufbereitungstechniken (z.B. „Standardisierte“ und „Step-back-Techniken“) hin zu den koronal-apikalen Techniken (z.B. „Crown-down-“ oder „Double-flared-Technik“) ist erkennbar (Hülsmann 2001).

Im Allgemeinen nimmt mit zunehmender Kanalkrümmung und/oder abnehmendem Krümmungsradius die Schwierigkeit zu, einen Wurzelkanal formgerecht und gleichzeitig weitestgehend frei von Gewebsresten zu erweitern (Dummer et al. 1998, Hoppe et al. 1993, Martin et al. 1997, Schäfer und Zapke 2000a, b, Thompson und Dummer 1997a, b). Die Vielfalt empfohlener Techniken der Wurzelkanalaufbereitung gibt Tabelle 3 wieder.

**Tabelle 3:** Auswahl der in der Literatur beschriebenen Wurzelkanalaufbereitungstechniken

<b>Autor</b>	<b>Technik</b>
Ingle (1961)	Standardisierte konventionelle Technik
Clem (1969)	Step-back-Technik
Weine (1975)	Incremental (Konische) Technik
Abou-Rass et al. (1980)	Anticurvature filing
Goerig et al. (1982)	Step-down-Technik
Morgan und Montgomery (1984)	Crown-down-pressureless-Technik
Roane et al. (1985)	Balanced-force-Technik
Fava et al. (1983)	Double-flared-Technik
Wildev und Senia (1989)	Canal-Master-Technik
Griesinger et al. (1993)	Korono-apikale Technik

Um aufbereitungsbedingte Abweichungen vom originären Verlauf stärker gekrümmter Wurzelkanäle weitestgehend zu vermeiden, sind in solchen Fällen teilweise spezielle Aufbereitungstechniken erforderlich (Wu und Wesselink 1995, Schäfer 1998a, b, Schäfer 2000).

Mit Hilfe konventioneller Kanalaufbereitungsmethoden konnten die Ziele der Wurzelkanalaufbereitung nur ungenügend erreicht werden. Die 1985 von Roane et al. eingeführte „*Balanced-force-Technik*“ und das 1989 von Wildey und Senia vorgestellte Canal-Master-U-System verbesserten die Qualität der Kanalaufbereitung wesentlich. Beiden Arbeitsgruppen ist die Erkenntnis zu verdanken, dass grundsätzliche Änderungen des Designs der Instrumente (abgerundete Instrumentenspitze, veränderte Querschnitte u.a.) und die Ausführung der Aufbereitungsbewegungen (rotierende bzw. balancierte Bewegungen) unerwünschte Transportationseffekte bei der Aufbereitung gekrümmter Wurzelkanäle deutlich reduzieren können (Suter 1999).

Wurzelkanalaufbereitungstechniken lassen sich weiterhin nach den verwendeten Instrumenten (Räummethode, Feilmethode) bzw. nach der angestrebten Form des Wurzelkanals (konische Präparation, zylindrische Präparation) unterscheiden. Hellwig et al. 1999 entwickelten nach der Art des Vorgehens ein Konzept für die Wurzelkanalaufbereitung: 1. die apikal-koronale Methode bei Verwendung von Reamern für die Aufbereitung von geraden, rundlichen Wurzelkanälen, 2. weiterentwickelte apikal-koronale Methoden (z.B. konische Aufbereitungstechnik unter Verwendung von Feilen für leicht gekrümmte Wurzelkanäle) und 3. die koronal-apikale Methode zur Aufbereitung stark gekrümmter Kanäle.

Schäfer (1994, 2000) teilt das Vorgehen bei der Wurzelkanalaufbereitung in eine drehend-schabende und in eine feilende Arbeitsweise ein (Tab. 4). Vessey konnte bereits 1969 zeigen, dass in gekrümmten Wurzelkanälen der drehend-schabende Einsatz („reaming action“) von Wurzelkanalinstrumenten im Vergleich zur feilenden Arbeitsweise zu besseren Aufbereitungsergebnissen führte (Schäfer 1994).

**Tabelle 4:** Vorgehen bei der Wurzelkanalaufbereitung (nach Schäfer 1994, 2000)

---

***Drehend, schabend***

Von apikal nach koronal

*Step-back-Technik*

Von koronal nach apikal

*Balanced-force-Technik*

*Crown-down/Step-down-Technik*

*Crown-down-pressureless-Technik*

*Canal-Master-Technik*

*Modifizierte Double-flared-Technik*

***Feilend, linear***

Von apikal nach koronal

*Circumferential-filing*

Von koronal nach apikal

*Anticurvatures-filing-Technik*

*Double-flared-Technik*

*Korono-apikale-Technik*

---

Es ist bekannt, dass Wurzelkanaltechniken, die eine Instrumentierung des Wurzelkanals von apikal nach koronal vorsehen, in Abhängigkeit von der Arbeitsweise und der benutzten Wurzelkanalinstrumente nicht unerhebliche Mengen infizierten Kanalinhalt in das periapikale Gewebe transportieren können (McKendry 1990, Bergenholtz 1994, Saunders und Saunders 1994, Dummer et al. 1998, Hinrichs et al. 1998, Reddy und Hicks 1998). Hiervor wird ausdrücklich gewarnt, da bei einem Überpressen von infiziertem Wurzelkanalinhalt das Risiko einer akuten Exazerbation einer ggf. vorhandenen chronischen apikalen Parodontitis – das sog. „flare-up“-Phänomen – deutlich erhöht ist (Seltzer und Naidorf 1985). Die Gefahr des unbeabsichtigten Transports von Wurzelkanalinhalt in das periapikale Gewebe ist bei Wurzelkanalaufbereitungstechniken auf der Grundlage des drehend-schabenden Instrumenteneinsatzes geringer als bei Aufbereitungsmethoden, die eine feilende Arbeitsweise erfordern (Schäfer 2000). Häufig ist in der Literatur von der sog. Hybridtechnik (■ Tübinger Aufbereitungstechnik) die Rede, eine Kombination unterschiedlicher Grundtechniken und Instrumente der manuellen und maschinellen Wurzelkanalaufbereitung (Rottwinkel 2000, Walsch 2004).

Letztlich können mit jeder Technik gute Resultate erreicht werden; je mehr Techniken aber beherrscht werden, umso mehr klinische Situationen können zur Zufriedenheit bewältigt werden (Hülsmann 2001).

### **2.3.1.2 Instrumentarium der maschinellen Wurzelkanalaufbereitung**

Um dem Behandler das sehr mühsame und zeitaufwendige Verfahren der Wurzelkanalaufbereitung zu erleichtern, wurde bereits Ende des 19. Jahrhunderts über die Entwicklung maschineller Aufbereitungshilfen nachgedacht. Als Pionier der maschinellen Wurzelkanalaufbereitung gilt der amerikanische Zahnarzt Rollins, der 1899 ein Winkelstück vorstellte, das eigens zum Zweck der Wurzelkanalaufbereitung konzipiert worden war. Bei seiner Entwicklung handelte es sich um ein einfaches Reduzierwinkelstück, in das spezielle Stahlnadeln zur Kanalerweiterung eingespannt werden konnten (Schwarze 1998). Die damaligen Instrumente für die maschinelle Wurzelkanalaufbereitung waren für den permanent rotierenden Antrieb ausgelegt. Zur Vermeidung von Instrumentenfrakturen wurde eine Umdrehungszahl der Instrumente von 100 U/min gewählt (Hülsmann und Schade 2000). Die dazugehörige „Bohrmaschine“ wurde mit dem Fuß angetrieben (Hülsmann 2001).

Eines der ältesten permanent rotierend angetriebenen Instrumente für die Wurzelkanalaufbereitung ist der Gates-Glidden-Bohrer (Tepel 2000, Hülsmann 2001).

Das Ende der 50er Jahre des letzten Jahrhunderts entwickelte Racer-Winkelstück (Cardex, Klagenfurt) und das 1964 vorgestellte Giromatic-System (Micro-Mega AG, D-Oberursel) erreichten eine größere Verbreitung. Bei den meisten nachfolgenden Systemen konventioneller Endodontie-Winkelstücke handelt es sich im Wesentlichen um Modifikationen des Giromatic-Systems. Verändert wurden primär der Bewegungsablauf und die Art der einzuspannenden Instrumente. Am Prinzip des starren Bewegungsablaufes wurde weitestgehend festgehalten.

Die Endodontiewinkelstücke der ersten Generation waren in der Kanalreinigung schlechter als die manuelle Aufbereitung. Es bestand eine erhöhte Gefahr der Stufenbildung und Perforation (Schwarze und Geurtsen 1996, Schwarze 1998). Erst mit den, Jahre später entwickelten Systemen mit flexiblem Bewegungsablauf (■ Canal-Leader 2000, S.E.T. GmbH, D-Emmering), wurden bessere Ergebnisse erreicht, da diese mehrheitlich mit einem integrierten Spülsystem ausgestattet waren (Hellwig et al. 1999, Hülsmann 2001, DGZMK 2002, 2006).

Das seit ca. 5 Jahren auf dem deutschen Markt befindliche Endo-Eze-System<sub>AET</sub> (Ultradent Products Inc., USA-South Jordan), eine Kombination aus Stahlinstrumenten und oszillierender Bewegung, führte in einer Untersuchung von Paqué et al. (2005) bei der Aufbereitung gekrümmter Wurzelkanäle zu ausgeprägten Präparationsfehlern und wird daher für den klinischen Einsatz nicht empfohlen.

Viele Zahnärzte bereiten den Wurzelkanal zwar immer noch per Hand mit Edelstahlinstrumenten auf, aber seit der 16. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Zahnerhaltung im Juni 2002 als auch der 1. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Endodontie e.V. (November 2002) wurde deutlich, dass sich die maschinelle Wurzelkanalaufbereitung mit Wurzelkanalinstrumenten aus Nickel-Titan-Legierungen und einer 360° Vollrotation zum festen Bestandteil der Endodontie entwickeln wird.

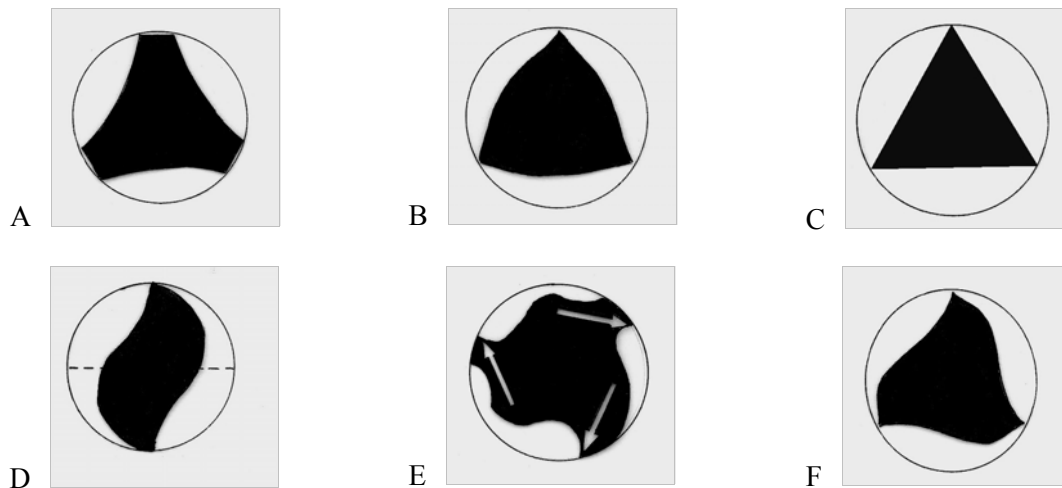
#### **2.3.1.2.1 Wurzelkanalaufbereitung mit Nickel-Titan-Systemen**

Die Einführung des Nickel-Titans durch Walia et al. (1988) zur Herstellung endodontischer Instrumente revolutionierte ab Mitte der 90er Jahre des letzten Jahrhunderts die maschinelle Wurzelkanalaufbereitung zusehends (Huhn 2001a, b): Zu den Protagonisten der NiTi-Feilensysteme gehören das aus dem Canal-Master-U-System weiterentwickelte LightSpeed-Instrumentarium (Max Dental, D-Augsburg), die ProFile-Instrumente (Maillefer Dentsply, CH-Ballaigues) sowie das Quantec-System (SybronEndo Europe, NL-Al Amersfoort).

Eine Übersicht ausgewählter maschineller Feilensysteme zur Wurzelkanalaufbereitung enthält die Tabelle 5.

**Tabelle 5:** Aktuelle Übersicht ausgewählter NiTi-Feilensysteme zur maschinellen Wurzelkanalaufbereitung (Stand Oktober 2006)

<b>System</b>	<b>Entwickler</b>	<b>Hersteller/Vertrieb</b>
<i>Vollrotierende Nickel-Titan-Instrumentensysteme mit „radial lands“ im Querschnitt (Abb. 7A)</i>		
<b>ProFile</b>	B. Johnson	Maillefer Dentsply, CH-Ballaigues
<b>SystemGT Rotary Files</b>	L.S. Buchanan	Maillefer Dentsply, CH-Ballaigues
<b>LightSpeed-System</b>	W.L. Wildey, S. Senia	Max-Dental, D-Augsburg
<b>Quantec-System</b>	J. Mc Spadden	SybronEndo Europe, NL-AL Amersfoort
<i>Vollrotierende Nickel-Titan-Instrumentensysteme mit konvexem Querschnitt (Abb. 7B )</i>		
<b>FlexMaster</b>		VDW GmbH, D-München
<b>ProTaper</b>	P. Machtou, C. Ruddle, J. West	Maillefer Dentsply, CH-Ballaigues
<i>Vollrotierende Nickel-Titan-Instrumentensysteme mit dreieckigem Querschnitt (Abb. 7C)</i>		
<b>FKG RaCe</b>		FKG Dentaire, CH-La Chaux-de-Fonds
<b>Endo Wave</b>		J. Morita Europe GmbH, D-Dietzenbach
<b>ENDOfash-System</b>		KaVo, D-Biberach
<i>Vollrotierende Nickel-Titan-Instrumentensysteme mit S-förmigem Querschnitt (Abb. 7D)</i>		
<b>Mtwo</b>		VDW GmbH, D-München
<b>ZX-System</b>		J. Morita Europe GmbH, D-Dietzenbach
<b>NiTi-TEE</b>	F. Erhardt	Sjöding Sendoline AB, SE-Kista
<i>Vollrotierende Nickel-Titan-Instrumentensysteme mit Sonderformen im Querschnitt (Abb. 7E, 7F)</i>		
<b>K3-Endo-System</b>		SybronEndo Europe, NL-AL Amersfoort
<b>HERO 642</b>		Micro-Mega AG, D-Oberursel
<b>Alpha-System</b>		Komet Gebr. Brasseler GmbH & Co KG, D-Lemgo



**Abbildung 7:** Querschnitte vollrotierender Nickel-Titan-Instrumentensysteme: „radial land“ (A), konvex (B), dreieckig (C) oder S-förmig (D) sowie Sonderformen (E, F)

In Design und Funktionsweise unterscheiden sich die Feilen deutlich von konventionellen Handinstrumenten. Die Einführung der computergestützten Konstruktion (CAD) und mehrachsiger CNC-Schleifmaschinen (CNC = computernumerische Steuerung) erlaubt den Herstellern heute die Entwicklung eines zunehmend komplexen Instrumentendesigns.

Alle Feilensysteme weisen mit Ausnahme des Quantec SC Systems, eine nicht-schneidende Führungsspitze auf und ermöglichen so ein sicheres („geführtes“) Erweitern der Wurzelkanäle (Bargholz et al. 2006). Der Einsatz dieser Instrumente bedingt überwiegend die Anwendung *Modifizierter „Step-down-“ oder „Crown-down-Techniken“*. Eine Ausnahme bilden die seit der 31. Internationalen Dental-Schau Köln 2005 erhältlichen Mtwo Instrumente mit nur zwei Schneidekanten. Das erste, sowie alle Folgeinstrumente werden auf volle Arbeitslänge angewandt („*Single Length Technik*“ = Einschritt-Technik).

Trotz dieser Gemeinsamkeiten bestehen zum Teil erhebliche Unterschiede zwischen den einzelnen Systemen. So variieren neben den Querschnitten (Tab. 5), die Spanwinkel und Konizitäten der zur maschinellen Aufbereitung empfohlenen Instrumente.

Die derzeit erhältlichen Nickel-Titan-Instrumente für den permanent rotierenden Antrieb lassen sich in drei große Gruppen einteilen:

1. Instrumente mit normkonformer Konizität ■ MITY ROTO-File, ENDOflash-System (Firmeninformation 2002),
2. Instrumente mit veränderter Konizität ■ HERO 642 (Firmeninformation 2004),
3. Vereinigung mehrerer verschiedener Konizitäten in einem Instrument ■ ProTaper (Baumann 2001a, Firmeninformation 2004).



Eine Sonderstellung nehmen die LightSpeed-Instrumente mit verkürztem Arbeitsteil (1,5 bis 3 mm), die an sehr feine Gates-Bohrer erinnern, ein.

RaCe- (Firmeninformation 2001, 2005, Dirrheimer 2005), EndoWave- (Firmeninformation 2006) NiTi-Feilen wurden inter alia mit zunehmender Erfahrung den klinischen Bedürfnissen weiter angepasst. Beide Systeme enthalten Feilen mit alternierenden Schneidekanten die ein Verschrauben oder Blockieren im Wurzelkanal verhindern sollen. Die Instrumentenoberfläche wird zudem einer speziellen elektrochemischen Behandlung unterzogen, durch die der Torsionswiderstand um das 10fache erhöht und die Metallermüdung reduziert wird.

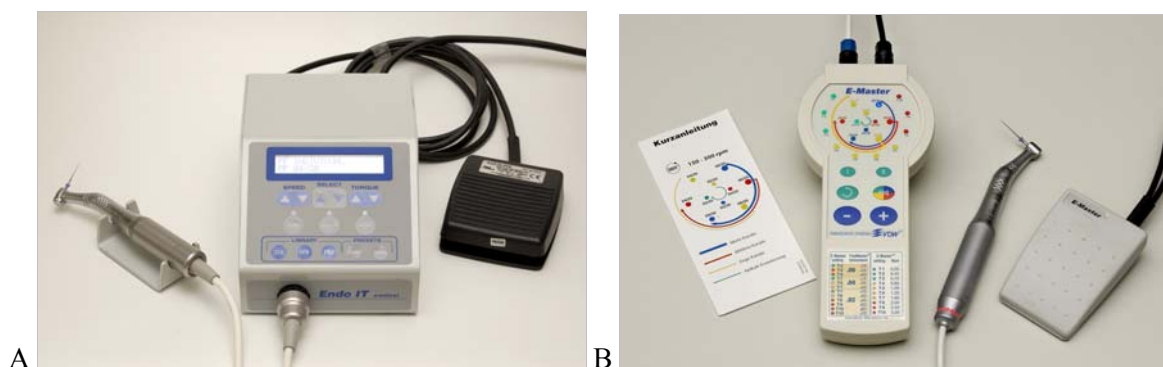
Bei all diesen Systemen stehen die Maximen einer qualitativ hochwertigen Wurzelkanalaufbereitung im Vordergrund (Hülsmann 2001). Die maschinell betriebenen Systeme sollen die Wurzelkanalaufbereitung vereinfachen und den benötigten Zeitaufwand reduzieren (Suter 1999). Die Sicherheit eines maschinellen Aufbereitungssystems wird durch die Häufigkeit von Zwischenfällen wie Instrumentenfraktur, Perforation der Kanalwand und Nichteinhalten der festgelegten Arbeitslänge bestimmt (Schwarze 1998). Sie kann durch den Einsatz moderner Antriebsmotoren mit Drehmomentbegrenzung weiter erhöht werden (Vorwerk 1999).

#### **2.3.1.2.1.1 Endodontiemotorsysteme als Antriebshilfen für Wurzelkanalinstrumente aus Nickel-Titan**

Rotierende Nickel-Titan-Instrumente werden stets niedrigtourig (mit limitierter Drehzahl) im feuchten Wurzelkanal eingesetzt (je nach System mit 150 bis 2000 U/min). Die maschinell generierte Vollrotation bedingt eine weitestgehend passive Arbeitsweise, sowie eine exakte Drehzahlkontrolle und Drehmomentbegrenzung (DGZMK 2002). Als eine *Conditio sine qua non* für eine erfolgreiche Nutzung von Nickel-Titan-Instrumenten gilt eine individuell justierbare Drehmomentbegrenzung für die verschiedenen Instrumentensysteme (Martin et al. 2003). Realisiert wird diese Drehmomentbegrenzung in der Regel durch spezielle Antriebssysteme (Tab. 6), die als Beistell- oder Stand-alone-Geräte in Kombination mit einem Endo-Winkelstück genutzt werden. Bei Erreichen eines definierten, unterhalb der Frakturgrenze liegenden Torque-Wertes ändern diese Motoren über elektronische Steuereinheiten ihre Drehrichtung (Auto Torque Reverse/Auto Reverse Funktion), so dass ein „Festfressen“ und eine Überbelastung der Feilen vermieden werden (■ EndoStepper, S.E.T. Olching) (Hülsmann 2001).

Während die erste Generation (■ TCM Motor 3000, Nouvag GmbH, D-Konstanz) dieser speziell für vollrotierende Nickel-Titan-Instrumente konzipierten Motoren eine individuell durch den Behandler festzulegende Torsionsbegrenzung vorsah, warteten neuere Geräte (■ VDW Endo Stepper, VDW GmbH, D-München) mit einer herstellerseitig für jedes einzelne Instrument vorprogrammierten digitalen Einstellung auf. Der ATR Tecnika Vision (ATR Italy, Dentsply Maillefer, CH-Ballaigues/Firmeninformation 2003) präsentiert nach Herstellerangaben einen Technologiestand für verbesserte Sicherheit mit perfekter Drehmoment- und Geschwindigkeitssteuerung in Verbindung mit der sog. Smart Card Technologie. Während die *Tecnika Vision Programm Card* Einstellungen des Herstellers für eine Vielzahl von nicht nur firmeneigenen Feilensystemen enthält, ermöglicht die *Tecnika Vision Data Card* die Speicherung eigener Einstellungen. Die neueste Entwicklung stellen endodontische Motorsysteme mit integrierter Steuerungs- und Messfunktion (■ TCM Endo V, Nouvag AG, CH-Goldach/Firmeninformation 2004) dar. Die letztgenannten Modelle sind update-fähig sowie mit und ohne Fusspedal verwendbar.

Parallel zu den eher für den Spezialisten konzipierten Stand-alone Geräten wurden von der Industrie handliche fernbedienungsgröße Motoren für den Allgemeinpraktiker entwickelt, die meist nur für ein bis zwei NiTi-Feilensysteme speziell vorprogrammiert sind. Während der E-Master (Tab. 6, Abb. 8B), optional mit Obturationsmodul E-Fill ausgestattet, direkt mit der Behandlungseinheit verbunden wird, ist der Einsatz der mit dualer Stromversorgung versehenen Endomotoren X-Smart und VDW.SILVER auch während des Ladevorganges möglich. Der kompakte und leichte X-Smart Motor, baugleich mit dem Endo-Mate DT, bietet zudem ein nur 92 g schweres Winkelstück mit Ein/Aus-Taste, das eine Bedienung ohne Fusspedal ermöglicht.



**Abbildung 8:** Endo IT control (A) und E-Master (VDW GmbH, D-München, B)

**Tabelle 6:** Endodontiemotorsysteme (Antriebsmotoren) mit Drehmomentbegrenzung (Stand Oktober 2006)

<b>System</b>	<b>Hersteller/Vertrieb</b>
<i>Stand-alone-Geräte</i>	
<b>VDW Endo Stepper</b>	VDW GmbH, D-München
<b>Endo IT control</b> (Abb. 8A)	VDW GmbH, D-München
<b>Endo IT professional</b>	VDW GmbH, D-München
<b>S.E.T.-EndoStepper</b>	S.E.T., D-Emmering
<b>EndoStepper 1</b>	Phytron-Elektronik GmbH; Vertrieb S.E.T. GmbH, D-Emmering
<b>EndoStepper easy-line</b>	Phytron-Elektronik GmbH; Vertrieb S.E.T. GmbH, D-Emmering
<b>ATR Tecnika</b>	ATR Italy, Dentsply Maillefer, CH- Ballaigues
<b>ATR Tecnika Vision</b>	ATR Italy, Dentsply Maillefer, CH- Ballaigues
<b>K3 etcm</b>	Kerr GmbH, D-Karlsruhe
<b>SybronEndo ETCM</b>	SybronEndo Europe, NL-AL Amersfoort
<b>TCM Motor 3000</b>	Nouvag GmbH, D-Konstanz
<b>TCM Endo</b>	Nouvag GmbH, D-Konstanz
<b>TCM Endo 2</b>	Nouvag GmbH, D-Konstanz
<b>TCM Endo III</b>	Nouvag AG, CH-Goldach
<b>TCM Endo IV</b>	Nouvag AG, CH-Goldach
<i>Stand-alone Gerät mit integrierter Steuerungs- und Messfunktion</i>	
<b>TCM Endo V</b>	Nouvag AG, CH-Goldach
<i>Endodontiemotorsystem in Taschenformat</i>	
<b>E-Master</b> (Abb. 8B)	VDW GmbH, D-München

Fortsetzung nächste Seite

**Fortsetzung Tabelle 6:** Endodontiemotorsysteme (Antriebsmotoren) mit Drehmomentbegrenzung (Stand Oktober 2006)

<b>System</b>	<b>Hersteller/Vertrieb</b>
<i>Akkubetriebene Endodontiemotorsysteme in Taschenformat</i>	
<b>VDW.SILVER</b>	VDW GmbH, D-München
<b>X-Smart</b>	Dentsply Maillefer, CH-Ballaigues
<b>Endo-Mate DT</b>	NSK Europe GmbH, D-Frankfurt
<i>Akkubetriebene Endodontiemotorsysteme mit integrierter Steuerungs- und Messfunktion in Taschenformat</i>	
<b>DentaPort Tri Auto ZX Modul +</b>	J. Morita Europe GmbH, D-Dietzenbach
<b>DentaPort Root ZX Modul = DentaPortZX</b>	
<b>Ionyx ENDY 5000</b>	Gerd Loser & Co GmbH, D-Leverkusen
<b>Ionyx EndoMaster</b>	EMS Vertriebs GmbH, D-München

Das DentaPort ZX ist eine Behandlungseinheit, die zwei Systeme miteinander verbindet: das DentaPort Root ZX Modul für die Längenmessung und das DentaPort Tri Auto ZX Modul für die maschinelle Aufbereitung. Das in Verbindung mit dem DentaPort ZX verwendete Winkelstück wiegt nur 70 g und schafft mit einer kompakten Kopfhöhe von nur 12,5 mm zusätzlich mehr Bewegungsfreiheit (Huhn 2004, Firmeninformation 2005). Während der Ionyx EndoMaster die Möglichkeit bietet, Mikromotor und ApexLocator separat zu verwenden, ist beim DentaPort ZX nur das Endometriemodul als unabhängige Einheit nutzbar.

Der oft hohe apparative und kostenintensive Aufwand der Endodontiemotorsysteme steht einer einfachen und rationellen Behandlung entgegen, insbesondere wenn endodontische Behandlungen an unterschiedlichen Arbeitsplätzen vorgenommen werden sollen.

Manche Hersteller von Nickel-Titan-Instrumenten geben Hinweise, dass ein spezieller drehmomentgesteuerter Mikromotor für den Antrieb der Instrumente nicht unbedingt erforderlich ist. Grundsätzlich können fast alle NiTi-Instrumente im reduzierten Winkelstück mit drehzahlstabilen Mikromotor eingesetzt werden. Die Verwendung eines normalen Winkelstücks an der Behandlungseinheit oder alternativ dazu der Einsatz sehr stark untersetzter Winkelstücke ist nur bedingt anzuraten, da insbesondere bei älteren Geräten

weder genügend Gleichlauf noch ein gleichmäßiges Drehmoment erzeugt werden (Baumann 2002). Dagegen wurde die Anwendung spezieller Winkelstücke mit integrierter Drehmomentbegrenzung in den vergangenen Jahren zunehmend positiv beurteilt (Suter 1999, Brendel 2001, Bargholz et al. 2006).

#### **2.3.1.2.1.2 Winkelstücke mit integrierter Drehmomentbegrenzung als Antriebshilfen für Wurzelkanalinstrumente aus Nickel-Titan**

Während die o.g. Antriebseinheiten Torsionsbegrenzungen über elektronische Steuereinheiten erreichen, arbeitet das SIRONiTi Winkelstück (Abb. 9A), ausgestattet mit fünf Drehmomentstufen von 0,5 bis 2,5 Ncm, mit einer grundsätzlich anderen Technologie.

Das für die Verwendung mit einem „klassischen“, in die zahnärztliche Einheit integrierten Mikromotor vorgesehene Winkelstück verfügt über eine Magnetkupplung, durch die ein Erreichen kritischer Belastungen vermieden wird. Anhand der mitgelieferten, vom Hersteller als „Torque Card“ (Abb. 9A) bezeichneten Tabelle erfolgt das Einstellen der für das jeweilige Instrument vorgegebenen Drehmomentbegrenzung. Dies geschieht mittels eines in das Winkelstück integrierten Einstellrings. Die für die einzelnen Instrumentensysteme verschiedenen „Torque Cards“ weisen dabei jedem Instrument einen individuellen Zahlenwert zwischen 1 und 5 zu, korrespondierend mit den Ziffern des Einstellrings.



**Abbildung 9:** SIRONiTi Winkelstück mit Drehmomentkontrolle und Torque-Cards (Fa. Sirona, D-Bensheim, A), Tri Auto ZX (J. Morita Europe GmbH, D-Dietzenbach, B)

**Tabelle 7:** Reduzierwinkelstücke als Antriebshilfen für Wurzelkanalinstrumente (Stand 2006)

<b>Winkelstück</b>	<b>Hersteller/Vertrieb</b>
<i>Ohne Drehmomentkontrolle</i>	
<b>T<sub>1</sub> LINE ENDO L</b>	Fa. Sirona, D-Bensheim
<b>T<sub>1</sub> CLASSIC ENDO L</b>	Fa. Sirona, D-Bensheim
<b>ENDOstraight</b>	KaVo Dental GmbH, D-Biberach
<i>Mit Drehmomentkontrolle</i>	
<b>KaVoENDOfashLUX3Winkelstück3640L</b>	KaVo Dental GmbH, D-Biberach
<b>ENDOadvance</b>	KaVo Dental GmbH, D-Biberach
<i>Mit Drehmomentkontrolle und AutoReverse Funktion</i>	
<b>Anthogyr NiTi-Control</b>	<b>Dentsply Maillefer, CH-Ballaigues</b>
<b>SIRONiTi (Abb. 9A)</b>	Fa. Sirona, D-Bensheim
<b>Mtwo direct</b>	<b>VDW GmbH, D-München</b>
<i>Mit Drehmomentkontrolle und AutoReverse Funktion (kabellos)</i>	
<b>EndoTouch TC entspricht</b>	SybronEndo Europe, NL-AL Amersfoort
<b>Endo-Mate TC</b>	NSK Europe GmbH, D-Frankfurt
<b>InGeT Control</b>	MicroMega, D-Neu Ansbach
<i>Mit Drehmomentkontrolle und elektronischer Längenmessung (kabelloses Alles-in-allem-System)</i>	
<b>Tri Auto ZX (Abb. 9B)</b>	J. Morita Europe GmbH, D-Dietzenbach

Ähnlich aufgebaut ist das Mtwo direct Winkelstück, jedoch wie der Name schon sagt, nur für das von der Firma VDW produzierte gleichnamige NiTi System konzipiert. Die Einstellungen befinden sich für jedes Instrument direkt auf dem Winkelstück und ermöglichen damit einen kontinuierlicheren Arbeitsablauf ohne „Torque Cards“.

Das Tri Auto ZX (Abb. 9B) vereint in sich ein kabelloses drehmomentbegrenztes Handstück mit einem Apex-Lokalisator und ist damit das erste Gerät seiner Art. Ein direkt auf dem Handstück angebrachtes LED-Display ermöglicht die kontinuierliche Überwachung des

Instrumentes im Wurzelkanal. Das EndoTouch TC (baugleich mit EndoMate DT), dem Tri Auto ZX sehr ähnlich, besitzt hingegen keine Meßfunktion.

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt liegen zur Genauigkeit der Endodontie-Motoren und über deren Einhaltung der angewählten Drehmomentgrenze noch keine Studien vor (Hülsmann 2004a, Bargholz et al. 2006).

Da die Antriebssysteme für die vollrotierende Arbeitsweise in der Regel nicht mit permanenter Spülung ausgestattet sind, wird zu intensiver Spülung geraten (DGZMK 2002, 2006).

Sowohl die winkelbegrenzte als auch die drehmomentbegrenzte Rotation leiten sich im Prinzip aus der permanenten Rotation her; beiden liegt die drehend-schabende Arbeitsweise zugrunde, sie unterscheiden sich von dieser jedoch durch die Begrenzung des Rotationswinkels. Die drehmomentbegrenzte Rotation ist gegenüber der winkelbegrenzten Rotation die zweckmäßigere Antriebsbewegung für ein maschinelles Aufbereitungssystem, da nicht nur die Fraktur, sondern auch das Verklemmen der Instrumente im Kanal ausgeschlossen wird (Tepel 1998, 2000). Untersuchungen von Barthel et al. (1999) konnten dies nicht bestätigen. Nickel-Titan-Instrumente wiesen bei vollständiger Rotation im Vergleich zur manuellen Wurzelkanalaufbereitung, auch bei sachgerechter und vorsichtiger Anwendung, ein größeres Frakturrisiko auf.

Klinisch ist darüber hinaus von Bedeutung, dass bei den beschriebenen Frakturen der NiTi-Instrumente teilweise nur sehr kleine Teile der Instrumentenspitze abbrechen und somit das Kanallumen blockieren können (Suter 1999). Solche feinsten Instrumentenfragmente können manchmal nur zufällig röntgenologisch im Wurzelkanal nachgewiesen werden (Schäfer 2000). Ein nicht zu unterschätzender Faktor für eine sichere, zwischenfallfreie Anwendung ist bei allen NiTi-Systemen die intensive Einübung (Eggert et al. 1998, Vorwerk 1999, Hülsmann und Schade 2000, Hülsmann 2001).

#### **2.3.1.2.2 Wurzelkanalaufbereitung mit Schall oder Ultraschall aktivierten Geräten**

Der Ultraschall wurde bereits 1957 von Richman und 1983 von Cameron in die Endodontie eingeführt. Schallgeräte arbeiten in einem Frequenzbereich von 1500 bis 6500 Hz und können direkt an die Behandlungseinheit gekoppelt werden. Dabei wird die Pressluft der hochtourigen Antriebe in Schwingungen im Schallbereich umgesetzt. Die Schallgeräte sind deshalb billiger als die Ultraschalleinheiten, deren hochfrequente Schwingungen (ca. 20.000-40.000 Hz) in einem speziellen Generator erzeugt werden müssen (Geurtsen 1990).

Wird die manuell-mechanische mit der schall- oder ultraschallunterstützten Aufbereitung, verglichen, lässt sich feststellen, dass letztere ausgeprägtere Rauigkeiten und eine dickere Schmierschicht auf der Kanalwand hinterlässt. Deshalb ist eine manuell-mechanische Nacharbeitung zur abschließenden Glättung erforderlich (Geurtsen 1990). Die Aufbereitung gekrümmter Wurzelkanäle durch Anwendung von Ultraschallsystemen ist aus Gründen der Arbeitssicherheit, Formgebung und Effektivität nicht zu empfehlen (Hülsmann 1999).

Nach dem Schrifttum bleibt als großer Vorteil der Ultraschall-/Schall-Instrumentierung die Förderung der Spülwirkung, in der gegenwärtig der Haupteinsatzbereich der schall- oder ultraschallaktivierten Geräte im Rahmen der Endodontie zu sehen ist (Geurtsen 1990, Hülsmann 1999). So betrachten Martin und Cunningham (1985) das Zusammenwirken von Ultraschallschwingungen und Spüllösungen als synergistischen Effekt. Neuere Studien belegen jedoch, dass der Kavitationseffekt quantitativ vernachlässigt werden kann. Es handelt sich vielmehr primär um akustische Strömungsphänomene („acoustic streaming“), wobei Flüssigkeitspartikel um eine schwingende Feile herum in schnelle Bewegungen versetzt werden (Hülsmann 1999). Untersuchungen neueren Datums sprechen dafür, dass Ultraschall mit Natriumhypochlorit als Spüllösung eine effiziente Kanalreinigung ermöglicht, die Formgebung des Kanals jedoch unbefriedigend bleibt (Suter et al. 1986, Beer und Gängler 1989, Stock 1992).

In einer mikrobiologischen Studie von Spoleti et al. (2003) zur Reduzierung der Keimzahl und rasterelektronenmikroskopischen Untersuchung von Sabins et al. (2003) zur Sauberkeit der Wurzelkanalwand wurde die Überlegenheit der schall- oder ultraschallgestützten gegenüber der konventionellen manuellen Spültechnik beschrieben.

## **2.3.2 Nichtinstrumentelle Wurzelkanalaufbereitung**

### **2.3.2.1 Wurzelkanalaufbereitung mit Lasern**

In der Endodontie etablierte Laser werden zur Vitalitätsprüfung (HeNe-Dioden-Laser, Laser-Doppler-Flussmessung), zur Präparation der Zugangskavität (Er: YSGG, Er: YAG-Laser) zur Wurzelkanalreinigung und –desinfektion (Ar+-Laser, Dioden-Laser, Nd: YAG-, Er: YAG-Laser) (Frentzen 1994, Stellungnahme der DGZMK und AfG 1994, Mehl et al. 1999, Schäfer 2000) und Wurzelkanalaufbereitung (XeCl-Excimer-, Er: YAG-Laser) eingesetzt. Laser können die mechanische Wurzelkanalaufbereitung nicht ersetzen, da sie noch mit erheblichen technischen Problemen und einer teilweise unzureichenden Effektivität verbunden sind. Insbesondere schränkt die Bruchgefahr der für eine Wurzelkanalaufbereitung erforderlichen



flexiblen und dünnen Lichtleiter der Lasersysteme die Anwendbarkeit erheblich ein, weil nach einer Fraktur diese Faserfragmente zumeist nicht mehr aus dem Wurzelkanal entfernt werden können. Erst mit der Weiterentwicklung dünner flexibler und haltbarer Applikatoren und verbesserten Lasersystemen wird die Zahl klinisch relevanter Laserapplikationen in der Endodontie zunehmen (Frentzen 1994, Mehl et al. 1999, Stellungnahme der DGZMK und AfG 1994, Frentzen 2002).

### **2.3.2.2 Hydrodynamische Wurzelkanalaufbereitung**

Bei der hydrodynamischen Wurzelkanalaufbereitung (Lussi-Technik) wird mit NaOCl und Schaffen eines Unterdruckes, kontrollierter Bildung und Implosion von Blasen das Pulpagewebe entfernt (Lussi et al. 1993). Eine Erweiterung oder Formgebung der Wurzelkanäle mit der hydrodynamischen Technik ist nicht möglich und auch nicht beabsichtigt. Eine Wurzelkanalfüllung mit konventionellen Fülltechniken ist nicht möglich, da kein Wurzelkanalwanddentin abgetragen wird (Lussi et al. 1996). Schäfer (2000) sieht in der hydrodynamischen Wurzelkanalaufbereitung keine Alternative zur instrumentellen Wurzelkanalaufbereitung.

### **2.3.2.3 Elektrochirurgiesystem**

Mit einem Elektrochirurgiesystem (Endox, Lysis, D-München), dessen differente Elektrode unter endometrischer Kontrolle in den Wurzelkanal eingeführt wird, sollen mit hoher Stromdichte mittels hochfrequenter Wechselspannung für die Dauer von 0,1 s das Pulpagewebe und Mikroorganismen verdampft und das Wurzelkanaldentin verschmolzen werden (Firmeninformation, Haffner et al. 1997, 1999).

Eine Formgebung des Wurzelkanals als Voraussetzung für eine nachfolgende Wurzelkanalfüllung ist nicht möglich, so dass auch dieses Elektrochirurgiesystem eine mechanische Wurzelkanalaufbereitung derzeit nicht ersetzen kann; es stellt lediglich zur Entfernung der Pulpa und frühzeitigen Reduktion der mikrobiellen Besiedlung des Endodonts eine Ergänzung des therapeutischen Spektrums dar (Schäfer 2000). Vögele (2001) berichtete im Ergebnis einer Studie zur Behandlung der akuten Pulpitis mit hochfrequenten Wechselstromimpulsen von einer häufiger erzielten Schmerzfreiheit.

#### **2.3.2.4 Depotphorese**

Knappwost entwickelte ein Verfahren unter Verwendung von Kupfer-Calciumhydroxid (Cupral). Dessen Komponenten sollen durch ein schwaches elektrisches Feld in das gesamte Wurzelkanalsystem transportiert werden. Im Gegensatz zur Ionophorese hat das elektrische Feld selbst keine Wirkung (Firmeninformation 2004).

Die Anwendung der Depotphorese wird in der Literatur sehr kritisch bewertet. Für Ørstavik (2003) ist es ein esoterisches Verfahren. Während Hülsmann (2001) auf den Mangel an aussagekräftigen Daten zur Erfolgsquote und Sicherheit verweist, lehnt Koçkan (2003) diese Technik als Alternative oder auch nur als Ergänzung zu modernen endodontischen Behandlungskonzepten kategorisch ab.

#### **2.3.3 Chemische Wurzelkanalaufbereitung**

Um sicherzustellen, dass durch die Aufbereitung auch Gewebsreste, Detritus und Bakterien, die in den Dentinkanälchen, Seitenkanälen oder anderen unzugänglichen Bezirken zurückgeblieben sind, beseitigt werden, muss eine unterstützende Spülung mit geeigneten Lösungen erfolgen (Hellwig et al. 1999). Die Spülung des Wurzelkanals mit antibakteriell wirksamen und gewebeauflösenden Lösungen, das chemische Debridement, stellt einen wesentlichen Bestandteil der mechanischen Wurzelkanalaufbereitung dar, die daher auch als chemo-mechanische Präparation (Abou-Rass et al. 1980) bezeichnet wird und von vielen Autoren als wichtigster Schritt in der endodontischen Behandlung angesehen wird (Stewart 1955, Schilder 1974, Cunningham et al. 1982a und b, Kipshagen 1984, Tronstad et al. 1985, Petschelt und Oberschachtsiek 1985, Guertsen 1990, Hülsmann 1992, Beer und Mayerhöfer 1997, Peters et al. 1997b). Es sollte mit Substanzen gespült werden, die bei möglichst großer antibakterieller Wirkung gleichzeitig möglichst gering zytotoxisch wirken (Hülsmann 2001).

Zusammengefasst sind die Ziele der Wurzelkanalspülung:

- Die Auflösung des organischen und anorganischen Kanalinhalts auch in den Bereichen des komplexen endodontischen Systems, die der instrumentellen Bearbeitung nicht zugänglich sind. Hierbei wird eventuell zurückbleibenden Bakterien ein Großteil des zu ihrem Überleben notwendigen Substrates entzogen.
- Desinfektion des Endodonts.
- Abtransport der Dentinspäne und hierdurch Verhindern einer Blockade des Wurzelkanals.

- Gleitmittel für die Wurzelkanalinstrumente (Erleichterung der Instrumentenhandhabung, Verminderung der Instrumentenfraktur).
- Bleichwirkung auf die koronalen und radikulären Zahnhartsubstanzen.

Die Desinfektion des Kanallumens, Entfernung von Debris und Dentinspänen, Beseitigung der aufbereitungsbedingten Schmierschicht auf der Kanalwand und die antimikrobielle Wirkung der verwendeten Spülflüssigkeit sollen den Kanal in einen keimarmen Zustand mit größtmöglicher Sauberkeit der Kanalwand versetzen (Hülsmann 1997). Selbst das früher und auch heute wieder favorisierte NaOCl kann allein die Schmierschicht nicht suffizient entfernen (Abou-Rass et al. 1980, Cunningham et al. 1982a). Bereits 1943 wurde deshalb von Grossman eine Wechselfüllung propagiert. Ein Vorteil durch alternierende Spülungen mit  $\text{H}_2\text{O}_2$  3 % + NaOCl 5,25 % zur Erzeugung naszierenden Sauerstoffs konnte jedoch nicht nachgewiesen werden (Hellwig et al. 1999). Der Zusatz oberflächenaktiver Substanzen zur Verminderung der Oberflächenspannung hat sich ebenfalls nicht bewährt. Dagegen kann die Wirkung und Effektivität der Wurzelkanalspülung durch gleichzeitige Anwendung von Schallvibrations- oder Ultraschallsystemen (sog. aktivierte Spülung) gesteigert werden (Ram 1977, Suter et al. 1986, van der Sluis 2006).

Um mit einer Ultraschallfeile der Größe ISO 015 bis in die Apikalregion vordringen zu können, reicht im Allgemeinen die Präparation bis ISO 025 zunächst aus. Dies kann bei einer Initialbehandlung akuter Schmerzen, die ihre Ursache im infizierten Endodont haben, wenn nicht ausreichend Zeit zur vollständigen Wurzelkanalaufbereitung zur Verfügung steht, hilfreich sein (Hülsmann 1999). Während des Spülvorgangs sollte die Ultraschallfeile möglichst keinen Wandkontakt haben, da hierdurch die Feilenschwingungen abgedämpft werden und die Effektivität der Spülung vermindert wird. Die Effektivität der Ultraschallspülung nimmt mit zunehmender Spülzeit ebenfalls zu (Hülsmann 1997). Zudem herrscht übereinstimmend die Auffassung, dass die Aufbereitung der Wurzelkanäle mit Schall- oder Ultraschall die Bildung der Schmierschicht nicht verhindert (Cunningham et al. 1982a). Eine ultraschallaktivierte Spülung mit NaOCl führt wohl zu einer Reinigung der Kanalwände, nicht aber zur kompletten Entfernung der Schmierschicht. In engen gebogenen Wurzelkanälen gibt es auch bei Anwendung von Ethylendiamintetraessigsäure (EDTA) Schwierigkeiten – egal, ob mit Spritze oder auch ultraschallaktiviert eingebracht – die Schmierschicht zu entfernen (Beer und Mayerhöfer 1997). Deshalb empfehlen Abou-Rass et al. (1980) zur Entfernung der Schmierschicht eine Kombination aus EDTA (15 %) und

NaOCl (5,25 %), wobei EDTA die anorganischen Bestandteile an- und auflöst und die organischen Reste durch NaOCl beseitigt werden können.

EDTA wurde von Nygaard-Ostby (1957) in die Zahnmedizin eingeführt. Es löst die mineralisierten Anteile der Schmierschicht auf und öffnet bzw. erweitert die Eingänge der Dentintubuli. Heckendorff und Hülsmann (2002) empfehlen die Anwendung von in pasten- bzw. gelförmiger Konsistenz vorliegender EDTA als unterstützende Maßnahme zur Wurzelkanalaufbereitung mit Nickel-Titan-Feilen. Hauptaufgabe des EDTA ist jedoch hierbei vor allem als Gleitmittel für die Instrumente zu dienen.

Die Spüllösungen NaOCl, EDTA, Chlorhexidindigluconat und Alkohol haben aus heutiger Sicht die Anwendung von Wasserstoffperoxid, physiologischer Kochsalzlösung und Wasser in den Hintergrund gedrängt. Die im jeweiligen Therapiefall kombinierte Anwendung der Lösungen im Zusammenspiel mit Gleitmitteln wie EDTA-Pasten muss empfohlen werden (Linden 2002a, b). Generell sollte die biomechanische Aufbereitung durch eine intensive Spülung mit Aqua destillata, physiologischer Kochsalzlösung oder Chlorhexidindigluconat (sog. inerte Spülung) abgeschlossen werden, um so die doch relativ aggressiven Agenzien (z.B. NaOCl, Zitronensäure oder  $H_2O_2$ ) restlos aus dem Kanal zu entfernen und dadurch unangenehme Nebenwirkungen zu vermeiden (Guertsen 1990, Brandt et al. 2001). Heute übliche Spülflüssigkeiten sind in Tabelle 8 zusammengefasst.

Die von Mahmoud Torabinejad entwickelte und 2003 vorgestellte Spüllösung MTAD (Dentsply DeTrey, D-Konstanz), bisher nur in den USA auf dem Markt, hat auch in Deutschland zur Diskussion angeregt. Die Lösung mit einem pH-Wert von 2,15 soll die Schmierschicht entfernen und gleichzeitig mit einem Breitbandantibiotikum hoher Substantivität, eine effektive Desinfektion des Wurzeldentins bewirken. In bislang neun experimentellen Studien, deren Resultate vielversprechend sind, wurden wichtige Eigenschaften der Spüllösung MTAD überprüft. Danach besitzt MTAD eine gute Biokompatibilität bei guter antibakterieller Wirksamkeit und effektiver Auflösung der Schmierschicht (Hülsmann 2004b). Ergebnisse klinischer Studien liegen zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch nicht vor.

Eine Spülung sollte umso häufiger und intensiver erfolgen, je stärker der Wurzelkanal vermutlich infiziert ist. Dabei ist nach Hülsmann (1997) das Volumen der verwendeten Flüssigkeiten wichtiger als die Konzentration der Lösungen. Es wird empfohlen, mit großen Flüssigkeitsvolumina (jeweils 2 bis 5 ml pro Kanal) zu spülen (Petschelt und Dobler 1991).

**Tabelle 8:** Heute übliche Spülflüssigkeiten für die Wurzelkanalaufbereitung

<b>Agens</b>	<b>Kategorie</b>	<b>Bestandteil</b>	<b>Eigenschaften</b>
Mild	<b>Physiologische Kochsalzlösung</b>	0,9 N NaCl in sterilem Wasser	biokompatibel, steril
Mild	<b>Aqua destillata</b>		biokompatibel, steril
Antiseptisch und/oder Desinfizierend	<b>Natriumhypochlorit</b>	0,5-5,25 % NaOCl 5,25 %	gewebeauflösend, bleichend ■ Histolith
Antiseptisch und/oder Desinfizierend	<b>Chlorhexidindigluconat</b>	0,1 - 2,0 % CHX	
Desinfizierend	<b>Wasserstoffperoxid</b>	3 - 5 % H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Sauerstoff freisetzend, desodorierend, bleichend
Antimikrobiell	<b>Isopropyl- bzw. Äthylalkohol</b>	55 - 95 %	mild fettlösend, niedrige Oberflächenspannung, gute Trocknung des Wurzelkanals
Antimikrobiell	<b>Ethylendiamintetraessigsäure</b>	15 - 30 % EDTA	erweicht Dentin, Komplexbildner, entfernt die Schmier-schicht, ■ Calcinase-Lösung
Antimikrobiell	<b>Zitronensäure</b>	20 % EDTA 40 - 50 %	organische Säure, entfernt gut die Schmierschicht
Antimikrobiell	<b>MTAD</b>	Antibiotika ( <i>Tetracyclin</i> ), Organische Säure ( <i>Zitronensäure</i> ), Detergens ( <i>Tween 80</i> )	entfernt die Schmier-schicht, senkt die Oberflächenspannung

Bei der Vitalexstirpation dient die Spülung hauptsächlich der Blutstillung und Auflösung des vitalen Gewebes sowie dem Abtransport der Dentinspäne, denn eine vitale Pulpa schließt eine erhebliche bakterielle Besiedelung des Endodonts meist aus (Hülsmann 1997). Generell sollte während der manuell-mechanischen Aufbereitung intermittierend gespült werden, um so gelockertes Weichgewebe und Dentinspäne aus dem Kanal zu entfernen und dadurch einer apikalen Propfbildung vorzubeugen (Guertzen 1990). Guldener und Langeland (2001) empfehlen, die Spülung nach jeder Instrumentengröße zu wiederholen. Die Voraussetzung für eine effiziente chemische Aufbereitung und für die Spülwirkung ist weiterhin ein Flüssigkeitsstrom von apikal nach koronal. Dies bedeutet, dass Kanülen verwendet werden müssen, die deutlich kleiner als der aktuelle Kanaldurchmesser sind. Eng an die Kanalwand anliegende Kanülen werden keinen Flüssigkeitsstrom erlauben. Problematisch sind in dieser Hinsicht immer enge, gekrümmte Kanäle, in denen sich ein ständiger Flüssigkeitsaustausch kaum erzielen lässt (Guertzen 1990). Deshalb sollte eine konventionelle Spritze mit möglichst dünner Injektionsnadel (Durchmesser 0,4 mm) verwendet werden. Da die Wirkung der Spülung nur wenige Millimeter über die Nadelspitze hinausreicht, ist die Eindringtiefe der Spülnadel in den Wurzelkanal von mitentscheidender Bedeutung (Hülsmann 1997). Eine effektive Wirkung auf die apikale Kanalregion ist nach Ram (1977) auch erst dann zu erwarten, wenn der Kanal bis zur ISO Größe 035-040 aufbereitet ist und die Spülnadel bis in das apikale Kanaldrittel vordringen kann.

Neuentwicklungen auf dem Gebiet der Spülnadeln sind: NiTi Irrigating Needle Tips sowie NaviTip. Beide haben einen Durchmesser von 0,3 mm (30 gauge) und sind flexibel, autoklavierbar und haben einen Luer Lock Verschluss.

Um eine Injektion von Spülflüssigkeiten in das periapikale Gewebe zu vermeiden, wurden in der Vergangenheit Varianten von Spülnadeln und Saugspülgeräten vorgestellt (Ram 1977).

Das neueste auf dem Markt befindliche System zur Wurzelkanalspülung RinsEndo (Dürr Dental GmbH & Co. KG, Abb. 10), arbeitet auf der Basis der Druck-Saug-Technologie. Auf die Turbinenkupplung aufgesteckt, wird es mit dem Fußschalter der Behandlungseinheit bedient. Durch einen Taktgeber im Handstück werden jeweils 65 Mikrometer Spülflüssigkeit mit einer Frequenz von 1,6 Hertz aus einer aufgesteckten Spritze angesaugt und über die RinsEndo Kanüle in den Wurzelkanal befördert. Hauser et al. (2006) untersuchte in vitro die zirkuläre und apikale Penetrationstiefe einer eingefärbten Natriumhypochloritlösung in das Wurzelkanalentin. Bezogen auf die zirkuläre Eindringtiefe erwies sich das RinsEndo-System der konventionellen Methode gegenüber als überlegen. Eigene In-vitro-Untersuchungen

bestätigten, dass die Druck-Saug-Wirkung die Reinigung des Wurzelkanals synergistisch unterstützt (Muselmani et al. 2005a, b, 2006a, b).

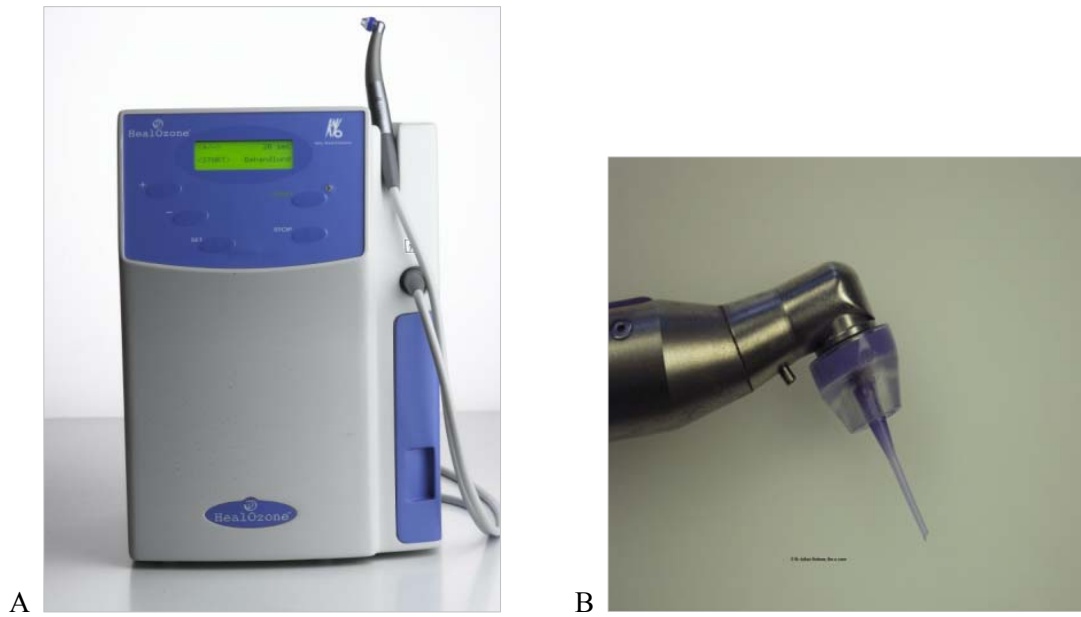
Im klinischen Alltag ist der Einsatz von RinsEndo als Ergänzung des endodontischen Instrumentariums empfehlenswert (Köhler 2005) und kann neben der Anwendung bei der Aufbereitung der Wurzelkanäle speziell auch bei der Entfernung medikamentöser Einlagen sowie bei Revisionen zur Entfernung von Wurzelkanalfüllmaterial und Debris hilfreich sein.



**Abbildung 10:** Das Wurzelkanalspülsystem RinsEndo (Dürr Dental GmbH & Co. KG)

Bereits in den 70iger Jahren des vorigen Jahrhunderts gab es Bestrebungen, Ozongas zur Wurzelkanal desinfektion einzusetzen (Deltour et al. 1970, Chahverdiani 1976).

Ozon ( $O_3$ ), in der Medizin nicht unbekannt, und u.a. zur Dekontamination von Krankenhausräumen verwendet, ist stark oxidierend und damit in der Lage, Zellwände und zytoplasmatische Membranen von Bakterien und Pilzen zu zerstören. In der Zahnmedizin kam es in den letzten Jahren zur Behandlung von Initial- und Wurzelkaries, Parodontitiden bzw. Mundschleimhauterkrankungen erneut zum Einsatz (Abb. 11) (Baysan et al. 2000, Laurisch 2003, Huth 2004, Lussi 2004). Neue Erkenntnisse zur Effektivität von Ozon im Wurzelkanal liegen zum gegenwärtigen Zeitpunkt nur wenige vor (Chang et al. 2003, Steier 2005). Der alleinige Einsatz von Ozon führte bislang nicht zum erwünschten Effekt. Auch die Ozonierung von Natriumhypochlorit 0,5 % bot gegenüber der Anwendung von unbehandeltem NaOCl 0,5 % nur einen sehr geringen, gegenüber der Desinfektionswirkung von NaOCl 5,25 % keinen Vorteil. Eine antimikrobielle Wirkung von ozoniertem Aqua destillata konnte nicht beobachtet werden.



**Abbildung 11:** Das KaVo HealOzone – Gerät (KaVo, D-Biberach) (A), Handstück mit Silikonkippchen zur Ozon-Applikation im Wurzelkanal (B)



### 3 Zielstellung

Die vorliegende Studie stellt sich der Problematik der Wurzelkanalaufbereitung und Reinigung und geht in einer In-vitro-Untersuchung der Effizienz der instrumentellen Wurzelkanalaufbereitung nach.

Auf dem Gebiet der Endodontie kam es in den letzten Jahren zu einer rasanten technischen Entwicklung. Die Einführung von vollrotierenden, maschinell gesteuerten Aufbereitungsinstrumenten aus Nickel-Titan-Legierungen hat unter Anwendung drehmomentbegrenzter Antriebsmotoren oder Winkelstücke zu einer erheblichen Erleichterung und Verbesserung der endodontischen Therapie geführt. Die Zahl der von den Dentalfirmen angebotenen Systeme ist mittlerweile sehr groß. Für die Praxistauglichkeit eines endodontischen Instrumentariums sind die Reinigungswirkung, Formgebung und Arbeitssicherheit entscheidend und letztendlich ausschlaggebend über Marktanteil und Bestand.

Ziel der vorliegenden In-vitro-Studie war es, die an der Wurzelkanalwand erzielte Reinigungsleistung der maschinellen Nickel-Titan-Systeme *FlexMaster* (VDW, GmbH, D-München), *KaVo ENDOflesh* (KaVo Dental GmbH & Co. KG, D-Biberach/Riss) und *K3* (Kerr GmbH, D-Karlsruhe) in gekrümmten Wurzelkanälen bei standardisierter Wurzelkanalspülung rasterelektronenmikroskopisch zu untersuchen und die Resultate mit der manuellen Aufbereitung zu vergleichen.

Als Arbeitshypothesen wurden angenommen,

- dass die maschinelle der manuellen Wurzelkanalaufbereitung hinsichtlich der Reinigungsleistung überlegen ist,
- dass bisherige Meinungsäußerungen über eine bessere Reinigungswirkung gekrümmter Wurzelkanäle unter Einsatz der maschinellen Aufbereitungshilfe *KaVo Endoflesh* im Vergleich zu *FlexMaster* und *K3* bestätigt wird,
- dass die Irrigation des Wurzelkanals entscheidende Bedeutung für die Entfernung von Debris besitzen und
- dass eine Auflösung der Schmierschicht („smear layer“) die Anwendung chemischer Aufbereitungshilfen verlangt.

## 4 Klinisch-experimentelles Vorgehen

### 4.1 Voruntersuchungen und Vorbereitung der Zähne

Zur Sicherung des standardisierten klinisch-experimentellen Vorgehens wurden zunächst Voruntersuchungen durchgeführt (Tab. 9, Anhangsabbildungen 1 bis 10). Diese sollten der Kalibrierung bei der Beurteilung der Wurzelkanalwände im Rasterelektronenmikroskop nach Einsatz unterschiedlicher Spüllösungen dienen.

**Tabelle 9:** Übersicht der Vorversuche für die rasterelektronenmikroskopische Untersuchung

Zahnzahl	Behandlung	Einwirkzeit	Einwirkzeit
		Außenkrümmung	Innenkrümmung
2 Zähne (4 Hälften)	Unbehandelt, nur Pulpaexstirpation		
1 Zahn (2 Hälften)	Pulpaexstirpation + NaOCl (Histolith 5,25 %)	180 sec	10 min
1 Zahn (2 Hälften)	Pulpaexstirpation + EDTA 15 % (Calcinase-slide)	120 sec	5 Min
1 Zahn	Pulpaexstirpation + Kombination (NaOCl+ EDTA)	60 sec	60 sec
1 Zahn	Pulpaexstirpation CHX 0,1 %	Cavitron 30 sec.	Cavitron 60 sec.

Die Aufbereitungstechniken (*Modifizierte „Balanced-force-Technik“*, *Modifizierte „Crown-down-Technik“*, *„Step-back-Technik“*) wurden an je 3 Kunststoffblöcken sowie an je 5 Wurzelkanälen extrahierter Zähne geübt.

Für die eigentlichen Untersuchungen wurden insgesamt 120 extrahierte menschliche obere und untere Molaren mit mindestens einer gekrümmten Wurzel, weitgehend intakten klinischen Kronen und abgeschlossenem Wurzelwachstum verwendet. Die Extraktionsgründe waren unbekannt.

Die Zähne wurden gesäubert und anhaftende Weich- und Hartgewebe von der Wurzeloberfläche mittels Instrumentarium entfernt. Nachfolgend wurden die Zähne trepaniert

und eine endodontische Zugangskavität präpariert, die Kronenpulpa wurde entfernt und die Wurzelkanaleingänge dargestellt.

Die Gängigkeit der Wurzelkanäle bis zum intakten Apex wurde mit dem Wurzelkanalinstrument Pathfinder-CS der Größe K1 (Kerr GmbH, D-Karlsruhe) und das Kanallumen mit einem Instrument der ISO-Größe 015 geprüft. Alle Wurzelkanäle, die nicht gängig waren oder deren Wurzelkanallumina im apikalen Abschnitt nicht der ISO-Größe 015 entsprachen, wurden aussortiert. Letztlich konnten 110 von 172 Wurzelkanälen in die Untersuchung einbezogen werden.

Die Wurzeln wurden mittels Permanent-Marker nummeriert. Vor der Wurzelkanalaufbereitung (WKA) wurden digitale Röntgenaufnahmen (Röntgengerät: Oralic AC-System/Gendex Secodont, I-Milano, Betriebsspannung 65.0 kVp, Belichtungszeit 10 sec ) mit dem initialen Wurzelkanalinstrument der ISO-Größe 015 im bucco-lingualen und/oder im disto-mesialen bzw. mesio-distalen Strahlengang angefertigt und in einer Datenbank gespeichert. Die Krümmungswinkel der Wurzelkanäle wurden in Anlehnung an Schneider (1972) mittels Computer ermittelt und dokumentiert (Abb. 12). Wurzelkanäle mit komplizierter Anatomie, sowie Krümmungswinkeln von  $< 20^\circ$  wurden von der Untersuchung ausgeschlossen.

Die Festlegung der Arbeitslänge erfolgte mit dem Pathfinder-CS mit Silikonstopper und visueller Kontrolle. Die Spitze des Instrumentes wurde bis zur Sichtbarkeit am apikalen Foramen vorgeschoben; von der gemessenen Wurzelkanallänge wurde 1 mm abgezogen und als Arbeitslänge festgelegt. Die Wurzelspitzen wurden mit einer dünnen Wachsschicht verschlossen und in Chlorhexidindigluconat 0,1 % (Gurgellösung Chauvin, ankerpharm GmbH Rudolstadt) gelagert.



**Abbildung 12:** Bestimmung des Krümmungswinkels nach Schneider (1972): k – koronale Zentralachse, a – apikale Zentralachse,  $\alpha$  – Krümmungswinkel

## 4.2 Untersuchungsgruppen

Die Zähne wurden randomisiert auf 8 Gruppen verteilt. Jede Gruppe umfasste 5 Wurzelkanäle.

Wurzelkanäle der **Gruppe 1** wurden mit *K-Flexoreamern* (Maillefer Dentsply, CH-Ballaigues) unter Anwendung einer manuellen, kombinierten Arbeitsweise zunächst nach der „*Balanced-force-Technik*“ bis ISO-Größe 025 (apikales Masterinstrument) und anschließend mit drei weiteren ISO-Größen nach der „*Step-back-Technik*“ (*SBT*) aufbereitet.

Die Wurzelkanäle der **Gruppe 2** wurden analog der Gruppe 1 jedoch mit *K-Flexofiles* (Maillefer Dentsply, CH-Ballaigues) bearbeitet (Abb. 13). Die Aufbereitung der Gruppen 3 bis 8 erfolgte maschinell.

In **Gruppe 3** kam das *FlexMaster*-System (VDW GmbH, D-München) unter Anwendung von *FlexMaster*-Nickel-Titan Feilen und des S.E.T. EndoSteppers 1 (Phytron-Elektronik GmbH, D-Gröbenzell) nach der *Modifizierten „Crown-down-Technik*“ (*CDT*) zum Einsatz.

Die Wurzelkanäle der Gruppen 4 bis 7 wurden mit dem *KaVo ENDOfash*-System (KaVo Dental GmbH & Co. KG, D-Biberach/Riss) aufbereitet. Dabei wurden *ENDOfash*-Files aus flexiblem Edelstahl nach der *SBT* in **Gruppe 4** und nach der *CDT* in **Gruppe 5** verwendet. Die Aufbereitung der Wurzelkanäle der **Gruppen 6 und 7** erfolgte analog, jedoch unter Anwendung von Nickel-Titan-Instrumenten.

Die WKA in **Gruppe 8** wurde mit dem *K3*-System (Kerr GmbH, D-Karlsruhe) unter Anwendung von *K3* Nickel-Titan Feilen nach der *CDT* durchgeführt (Abb. 13).

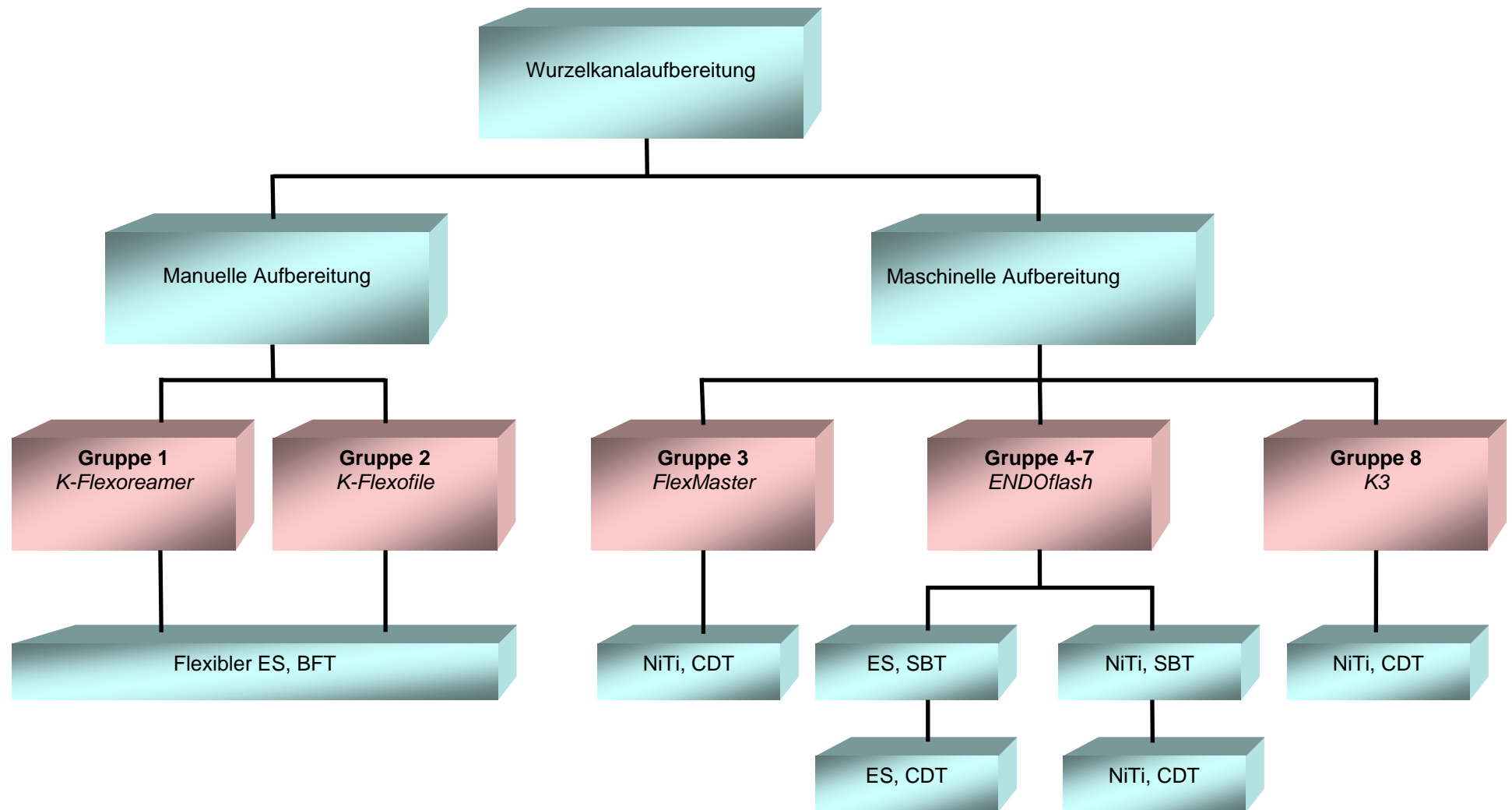
Die maschinellen Aufbereitungen erfolgten entsprechend den Herstellerempfehlungen. Es kamen für jeden aufzubereitenden Wurzelkanal neue Instrumente unter Verwendung von 15%igem Ethylendiamintetraessigsäure-Gel (EDTA-Gel) (CALCINASE-slide, lege artis Pharma GmbH+Co KG, D-Dettenhausen) zum Einsatz.

### Spülungsprotokoll

1. Die **Zwischenspülung** erfolgte in der Regel nach jedem Instrumentenwechsel mit 2 ml der 5,25%igen Natriumhypochlorit- (NaOCl) Lösung HISTOLITH (lege artis Pharma GmbH+Co KG, D-Dettenhausen). Die Einwirkzeit betrug ca. 60 sec.
2. Die **Schlusspülung** wurde mit 2 ml der 20%igen Ethylendiamintetraessigsäure- (EDTA) Lösung CALCINASE-Lösung (lege artis Pharma GmbH+Co KG, D-Dettenhausen) durchgeführt. Die Einwirkzeit betrug ca. 2 min.

3. Eine inerte Spülung mit 3 ml Aqua ad injectabilia und die Trocknung mit Papierspitzen beendeten die Wurzelkanalaufbereitung.

Die Wurzelkanalspülung erfolgte konventionell unter Einsatz einer 30 gauge Spülkanüle (Max-i-Probe, Dentsply DeTrey, Konstanz, Deutschland).



**Abbildung 13:** Gruppeneinteilung (ES = Edelstahl, BFT = *Modifizierte „Balanced-force-Technik“*, NiTi = Nickel-Titan, CDT = *Modifizierte „Crown-down-Technik“*, SBT = *„Step-back-Technik“*)

#### 4.2.1 Die manuelle Wurzelkanalaufbereitung

Die verwendeten Wurzelkanalinstrumente *K-Flexoreamer* und *K-Flexofiles* (Maillefer Dentsply, CH-Ballaigues) besitzen einen dreieckigen Querschnitt und werden durch Verdrillung aus flexiblem Edelstahl (SCS = space craft steel) hergestellt (Tab. 10).

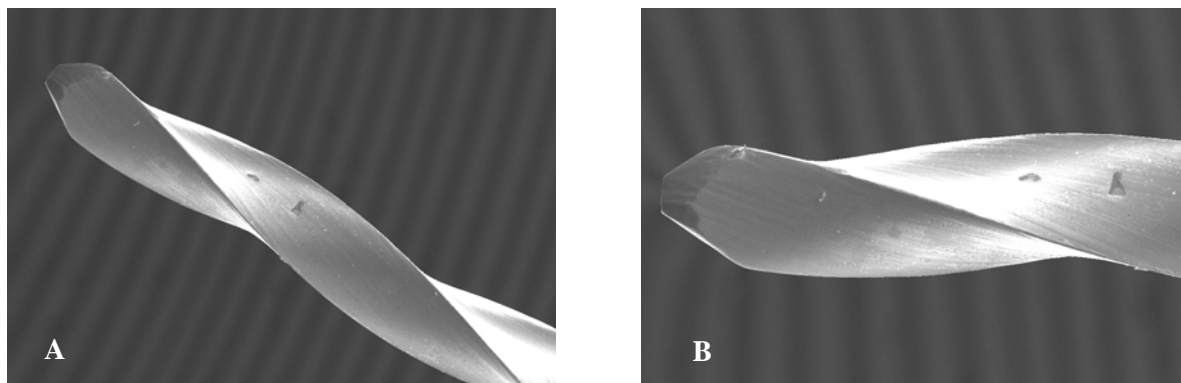
**Tabelle 10:** Zusammensetzung der flexiblen Edelstahlinstrumente *K-Flexoreamer* und *K-Flexofiles* (Schäfer 1998)

Edelmetall	Prozent (jeweils in m %)
Fe	71,70
Cr	17,00
Ni	8,00
C	0,09
Mn	1,30
Mo	0,70
Si	1,20

*K-Flexoreamer* weisen stets 16 Windungen pro Arbeitsteil auf, ihr Schneidekantenwinkel beträgt im Spitzenbereich etwa 23° und im Endbereich des Arbeitsteils 32° (Abb. 14, 15).



**Abbildung 14:** *K-Flexoreamer* (Maillefer Dentsply, CH-Ballaigues) Feilensatz ISO 015 bis ISO 040 (A) Einzelfeile ISO 030 (B)



**Abbildung 15:** *K-Flexreamer* (Maillefer Dentsply, CH-Ballaigues) im rasterelektronischen Bild (ISO 020, Vergrößerung 100x) (A) Battspitze des *K-Flexreamer* im rasterelektronischen Bild (ISO 020, Vergrößerung 160x) (B)

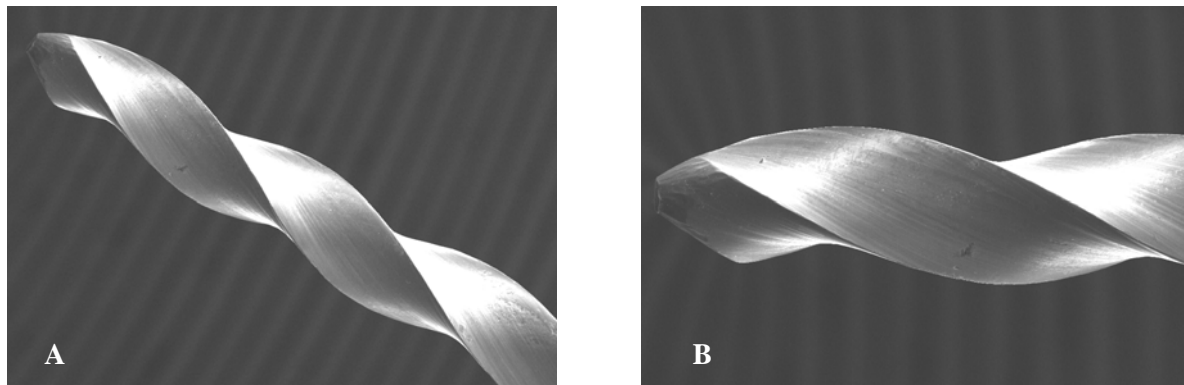
*K-Flexofiles* weisen dagegen stets 29 Windungen pro Arbeitsteil auf, ihr Schneidekantenwinkel beträgt im Bereich der Instrumentenspitze etwa  $30^\circ$  und im Endbereich des Arbeitsteils  $45^\circ$  (Abb. 16, 17).



**Abbildung 16:** *K-Flexofiles* (Maillefer Dentsply, CH-Ballaigues) Feilensatz ISO 015 bis ISO 040 (A) Einzelfeile ISO 030 (B)

Beide zeichnen sich durch eine veränderte Spitzengeometrie aus. Die scharfkantig zulaufende Instrumentenspitze sowie die scharfen Schneidekanten im Bereich der Instrumentenschulter herkömmlicher Wurzelkanalinstrumente werden laut Hersteller durch eine kuppenartig geformte, nicht schneidende Instrumentenspitze und durch die Abflachung der Instrumentenschulter ersetzt (Abb. 15 B, 17 B).





**Abbildung 17:** *K-Flexofile* ISO 020 (Maillefer Dentsply, CH-Ballaigues) im rasterelektronischen Bild (Vergrößerung 100x) (A) Battspitze der *K-Flexofile* ISO 020 im rasterelektronischen Bild (Vergrößerung 160x) (B)

Das Vorgehen bei der manuellen Aufbereitung der Wurzelkanäle mit der *Modifizierten „Balanced-force-Technik“ (BFT)* ist nachfolgend Schritt für Schritt beschrieben.

Arbeitsschritte der *Modifizierten „Balanced-force-Technik“*:

1. Verwendung von Instrumenten der ISO-Größen 015/020/025 mit ermittelter Arbeitslänge
2. Placement: Einführen der nicht vorgebogenen Feile unter leichten Hin- und Herbewegungen (ohne Rotation) bis zum Widerstand in den Wurzelkanal. Nachfolgend Drehbewegung um 90° im Uhrzeigersinn mit geringem apikalen Druck.
3. Cutting: Rotation um 180° im Gegenuhrzeigersinn mit stärkerem apikalen Druck.
4. Removal: Herausführen der Feile, im Uhrzeigersinn drehend.
5. Verwendung von Instrumenten der ISO-Größen 030/035/040 in Anlehnung an die *SBT* mit sukzessiv gekürzter Arbeitslänge um 1 mm (weiter wie unter 2).

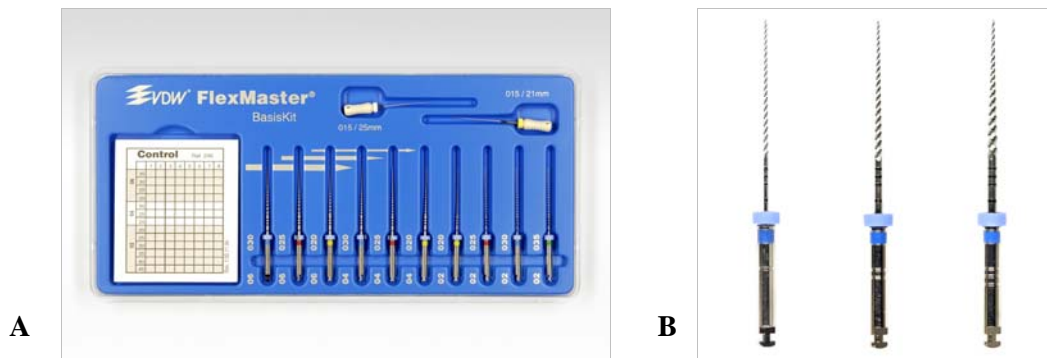
## 4.2.2 Die maschinelle Wurzelkanalaufbereitung

### 4.2.2.1 VDW *FlexMaster*-System

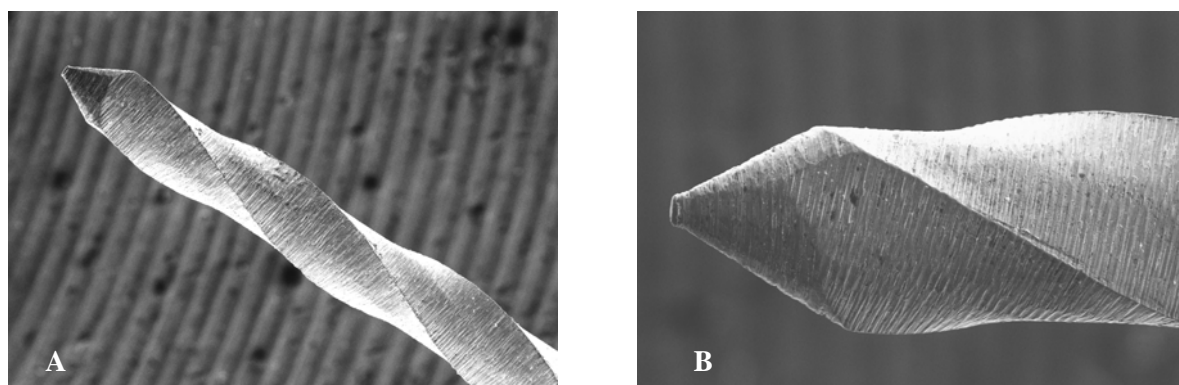
*FlexMaster*-Instrumente werden aus einer Nickel-Titan-Legierung in den ISO-Größen 020 bis 070 hergestellt. Alle Instrumente weisen einen konvexen Dreiecksquerschnitt, Schneidkanten vom K-Typ sowie eine nicht schneidende Spitze auf (Abb. 15, 16).

Das *FlexMaster*-System arbeitet mit unterschiedlichen Konizitäten (engl.: Taper 2 % 4 %, 6 %), die durch eine Ringkerbung am Schaft identifiziert werden (ein Ring Taper .02, zwei

Ringe Taper .04, drei Ringe Taper .06). Tiefenmarkierungen am Arbeitsteil bieten zusätzlich eine Orientierungshilfe. Ein bereits vom Hersteller angebrachter Silikonstopper dient der Arbeitslängenmarkierung.



**Abbildung 18:** *FlexMaster*-BasisKit (A) *FlexMaster*-Feile (Taper .02/.04/.06 ISO 030) (B)



**Abbildung 19:** *FlexMaster*-Feile Taper .02 ISO 025 im rasterelektronenmikroskopischen Bild (Vergrößerung 70x) (A) Battspitze der *FlexMaster*-Feile Taper .02 ISO 030 im rasterelektronenmikroskopischen Bild (Vergrößerung 160x) (B)

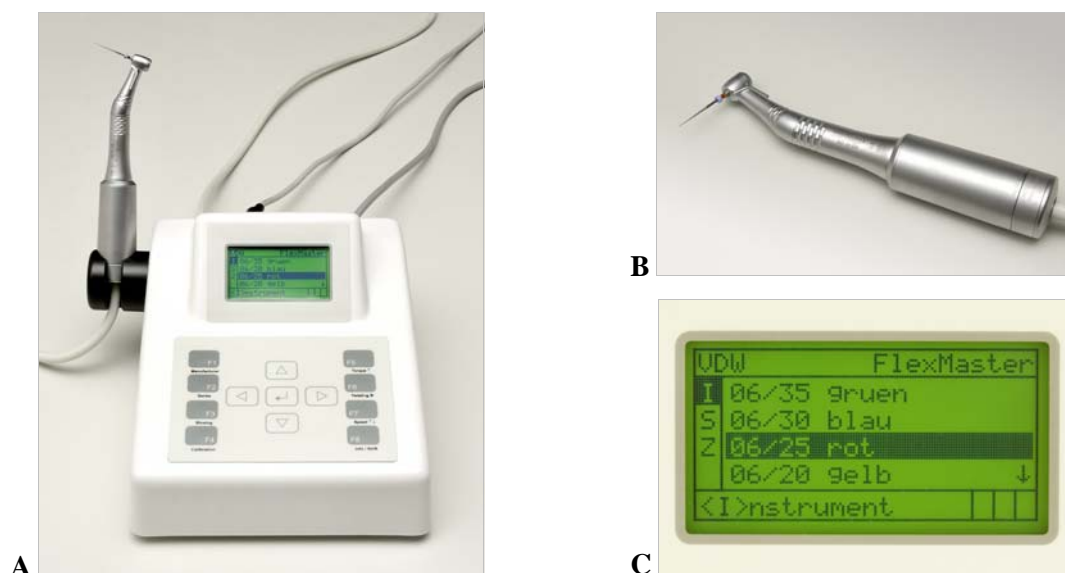
Je nach Wurzelkanaldurchmesser und -krümmung empfiehlt der Hersteller die Anwendung von drei unterschiedlichen Instrumentensequenzen.

In der vorliegenden Untersuchung wurde die Instrumentenfolge für enge stark gekrümmte Kanäle (gelbe Sequenz .06/020 → .04/030 → .04/025 → .04/020) angewendet und für die apikale Aufbereitung die Instrumentenfolge (grüner Kreis .02/020 → .02/035) (Abb. 20).



**Abbildung 20:** FlexMaster-Kurzanleitung (A) FlexMaster-Systembox (B) und Übersicht (C)

Die empfohlene Vorgehensweise entspricht der „Crown-down-Technik“: Diese erfolgte mit dem Schrittmotor S.E.T. EndoStepper1 (Phytron-Elektronik GmbH, D-Gröbenzell) mit Drehmomentbegrenzung und einer Drehzahl zwischen 150 und 300 UpM in Verbindung mit dem 1:1 Winkelstück W&H TREND<sup>E</sup> WD-56 EM. Über ein Display können die Instrumentensequenzen für weite, mittlere und enge Kanäle per Tastendruck direkt angewählt werden. Mit Cursorstasten wird zum jeweils nächsten Instrument innerhalb der Sequenz gewechselt (Abb. 21).



**Abbildung 21:** S.E.T. EndoStepper1 (Phytron-Elektronik GmbH, D-Gröbenzell) (A) 1:1 Winkelstück (W&H TREND<sup>E</sup> WD-56 EM, W&H Deutschland GmbH & Co.KG) (B) Display (C)

Arbeitsschritte des VDW *FlexMaster*-Systems:

1. Mit dem ersten Instrument der Größe .06/020 wurde der Wurzelkanal zunächst koronal eröffnet und bis zur Kanalmitte erweitert.
2. Anschließend gelangte die zweite Feile der Größe .04/030 bereits tiefer in den Wurzelkanal.
3. Mit der Feile .04/025 wurde die Aufbereitung fortgesetzt, die Feile erreichte tiefere Kanallabschnitte.
4. Mit Anwendung der Feile .04/020 wurde die „*Crown-down-Phase*“ abgeschlossen.
5. Erst dann wurde die Arbeitslänge auf alle .02 Instrumente übertragen und es begann die apikale Aufbereitung mit der Feile .02/020 und .02/025.
6. In der Regel wurde apikal um zwei weitere Größen (.02/030, .02/035) erweitert. Wenn es die Kanalanatomie nicht zuließ, fand die *SBT* Anwendung.

#### 4.2.2.2 *KaVo ENDOflash-System*

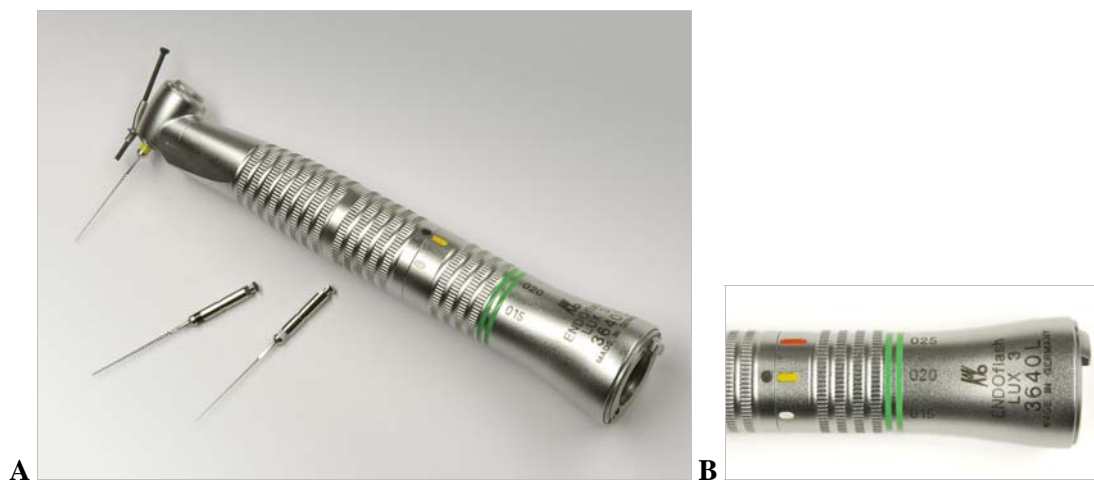
In der vorliegenden Untersuchung wurde weiterhin das *ENDOflash*-System mit *ENDOflash*-Feilen sowie einem Winkelstück verwendet, das auf die Motorkupplung der Behandlungseinheit aufgesteckt, nach dem Prinzip der drehmomentbegrenzten Rotation arbeitet (Abb. 22). Laut Herstellerangaben soll die Höchstdrehzahl von 10 000 U/min nicht überschritten werden, durch die 40:1 Reduzierung wird eine Feilendrehzahl von 250 U/min erreicht.



**Abbildung 22:** *ENDOflash*-Feilensätze; rechts = Edelstahl, links = Nickel-Titan (A) *ENDOflash*-Einzelfeilen ISO 030; rechts = Edelstahl, links = Nickel-Titan (B)

Das Drehmoment, bei dessen Überschreitung das Wurzelkanalinstrument nicht weiter angetrieben wird, lässt sich mechanisch mittels Drehring in drei Stufen einstellen.

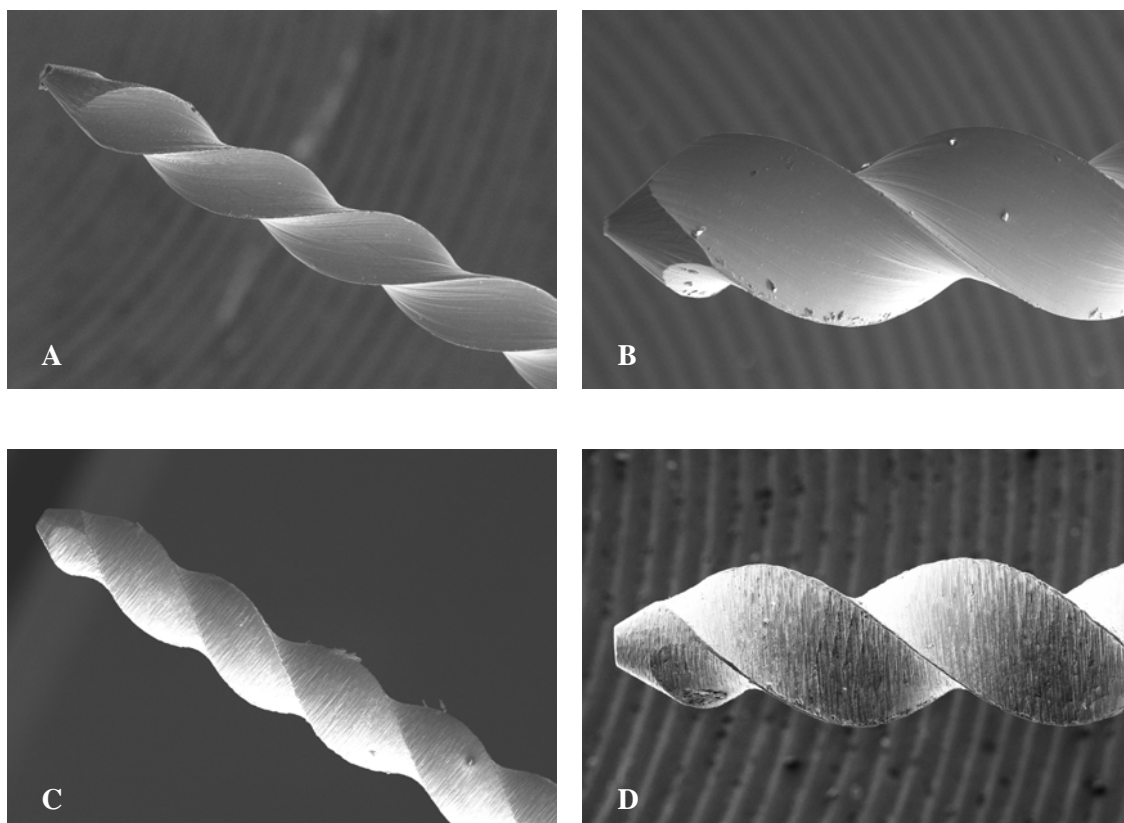
Die Kennzeichnung der Rastereinstellungen entspricht der ISO-Farbkodierung der Feilen (Weiß: Drehmoment = 0,04 Ncm, Einstellung für Feilen der ISO-Größe 015; Gelb: Drehmoment = 0,08 Ncm, Einstellung der Feilen der ISO-Größe 020; Rot: Drehmoment = 0,14 Ncm, Einstellung der Feilen der ISO-Größe 025 und größer) (Abb. 23).



**Abbildung 23:** ENDOflash LUX 3 Winkelstück 3640 L mit integriertem 25.000 Lux Lichtleiter (A) Drehring des ENDOflash-Winkelstückes (vergrößerter Ausschnitt) (B)

In der vorliegenden Untersuchung wurden Feilen sowohl aus flexiblem Edelstahl mit modifizierter nichtschneidender Spitze und abgerundeten Schultern in den ISO-Größen 015 bis 040 als auch NiTi-Flex-K-Feilen in den ISO-Größen 015 bis 040 eingesetzt (Abb. 24); die Schneidekantenwinkel der Feilen liegt zwischen 25 bis 40°.

Die Instrumente besitzen eine der ISO-Norm entsprechende Konizität von 2 %. Am Kopf des Winkelstückes ist ein um ca. 300° frei drehbarer Tiefenstopphalter aufgesteckt, der auf den Referenzpunkt am Zahn ausgerichtet werden kann und mit dessen Hilfe ein Einstellen der Arbeitslänge möglich ist. Eine vom Hersteller angebotene dreieckige Messlehre dient dem Einstellen der Arbeitstiefe der ENDOflash-Files (Abb. 25).



**Abbildung 24:** *ENDOflash Feile* ISO 025 aus flexiblem Edelstahl im rasterelektronenmikroskopischen Bild (Vergrößerung 70x) (A) Modifizierte nichtschneidende Instrumentenspitze mit abgerundeter Schulter der *ENDOflash Feile* ISO 050 im rasterelektronenmikroskopischen Bild (Vergrößerung 80x) (B) *ENDOflash Feile* ISO 025 aus Nickel-Titan im rasterelektronenmikroskopischen Bild (Vergrößerung 70x) (C) Modifizierte nichtschneidende Instrumentenspitze mit abgerundeter Schulter der *ENDOflash Feile* ISO 045 aus Nickel-Titan im rasterelektronenmikroskopischen Bild (Vergrößerung 80x) (D)



**Abbildung 25:** *ENDOflash LUX 3* Winkelstück 3640 L mit Tiefenstopphalter (A) Messlehre (B)

Laut Herstellerangaben sind mit dem *ENDOflash*-System die „*Konventionelle Technik*“, die „*Step-back-Technik*“ als auch die „*Crown-down-Technik*“ möglich.

#### **4.2.2.2.1 Die „*Step-back-Technik*“**

1. Die Kanäle wurden ausgehend von der ISO-Größe 015 bis 040 aufbereitet, ohne dass ISO-Größen ausgelassen wurden.
2. Die jeweilige Drehmomentbegrenzung wurde entsprechend den Vorgaben am Winkelstück gewählt: die weiße Markierung (0,04 Ncm) für die Instrumente der ISO-Größe 015, die gelbe Markierung (0,08 Ncm) für die Instrumente der ISO-Größe 020 und die rote Markierung (0,14 Ncm) für die Instrumente ab der ISO-Größe 025.
3. Während die ISO-Größen 015 bis 025 in voller Arbeitslänge verwendet wurden, erfolgte die Aufbereitung mit den ISO-Größen 030 bis 040 entsprechend der „*Step-back-Technik*“ mit sukzessiver Kürzung der Arbeitslänge um 1 mm.

Die nach apikal gerichtete Bewegung erfolgte zügig und mit minimalem Kraftaufwand. Nach Erreichen der Arbeitslänge wurde zur nächstfolgenden *ENDOflash*-Feile gewechselt. Leerlaufrotationen, die zu unerwünschten Formveränderungen führen, wurden vermieden.

#### **4.2.2.2.2 Die Modifizierte „*Crown-down-Technik*“**

Die Aufbereitung erfolgte unter zügigen apikalwärts gerichteten Bewegungen.

1. Mit der *ENDOflash*-File ISO-Größe 040 wurde zunächst nur das koronale Drittel erweitert. Der Hersteller empfiehlt die mittlere (gelbe) Drehmomenteinstellung, da sich sonst die Instrumente nur unter großer Kraftaufwendung aus dem Wurzelkanal entfernen lassen. Es folgten weitere *ENDOflash*-Files in absteigender Folge bis ISO-Größe 015. Erst diese Feile wurde auf die volle Arbeitslänge in den Kanal eingeführt.
2. Die Erweiterung des apikalen Drittels schloss sich unter Anwendung der *ENDOflash*-Files in aufsteigender ISO-Größe bis 040 an. Wenn es die Kanalanatomie nicht zuließ, fand die „*Step-back-Technik*“ Anwendung.



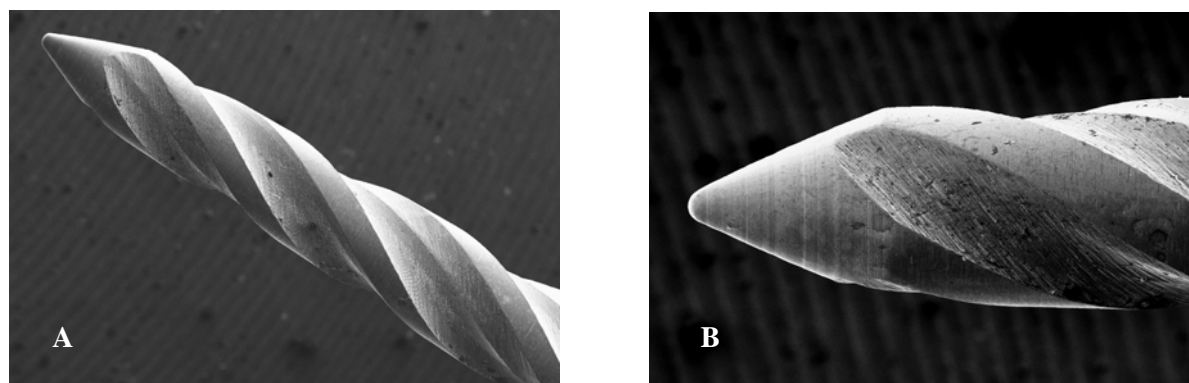
### 4.2.2.3 K3-System

K3-Instrumente werden aus einer Nickel-Titan-Legierung in den ISO-Größen 015 bis 060 hergestellt. Sie weisen drei asymmetrisch angeordnete Schneidekanten sowie eine nicht schneidende Spitze auf (Abb. 26, 27). Ihr Schneidekantenwinkel beträgt im Spitzenbereich etwa  $23^\circ$  und im Endbereich des Arbeitsteils  $32^\circ$ .

Es wurden nur Instrumente der Konizitäten .04 (grüner Ring) und .06 (oranger Ring) verwendet. Tiefenmarkierungen am Arbeitsteil und ein bereits vom Hersteller angebrachter Silikonstopper waren eine zusätzliche Orientierungshilfe.



**Abbildung 26:** K3 NiTi File (Taper .04 ISO 030) Packung (A) und K3 NiTi File (Taper .04 ISO 30) Einzelfeile (B)



**Abbildung 27:** K3 NiTi File Taper .06 ISO 015 im rasterelektronenmikroskopischen Bild (Vergrößerung 40x) (A) und Sicherheitsspitze der K3 NiTi File Taper .06 ISO 020 im rasterelektronenmikroskopischen Bild (Vergrößerung 80x) (B)



#### Arbeitsschritte des K3- Systems:

1. Der koronale Anteil wird mit den Zugangserweiterern (Taper .10/ISO 025 und Taper .08/ISO 025) unter leichten Ein- und Auswärtsbewegungen erweitert.
2. Mit der Feile .06/020 wurde die Aufbereitung fortgesetzt.
3. Es erfolgte der Übergang zu Instrumenten der Konizität .04 (ISO 030 bis 015). Die „Crown-down-Phase“ war damit abgeschlossen.
4. Benutzung der Instrumente in umgekehrter Reihenfolge. In der Regel wurde apikal bis Taper .04/ISO 040 erweitert. Wenn es die Kanalanatomie nicht zuließ, fand die „Step-back-Technik“ Anwendung.

### 4.3 Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen

Zunächst wurden nach der Wurzelkanalbehandlung die Zahnkronen und -wurzeln im Bereich der Schmelz-Zementgrenze voneinander getrennt. Die Zahnwurzeln wurden nachfolgend ohne Kanaleröffnung mit einer diamantierten Trennscheibe (204 DSB; Komet, Gebr. Brasseler GmbH & Co. KG, Lemgo, Deutschland) seitlich von koronal bis apikal ca. 1 mm tief eingeritzt. Mit einem Lecrone-Instrument erfolgte die Längsspaltung (Abb. 28) und anschließend die Markierung des apikalen, mittleren und koronalen Bereiches zur besseren Orientierung bei der rasterelektronenmikroskopischen Betrachtung.



**Abbildung 28:** Zahnwurzel nach Längsspaltung

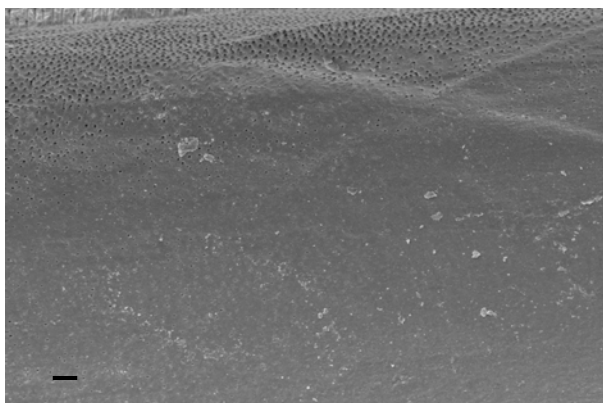
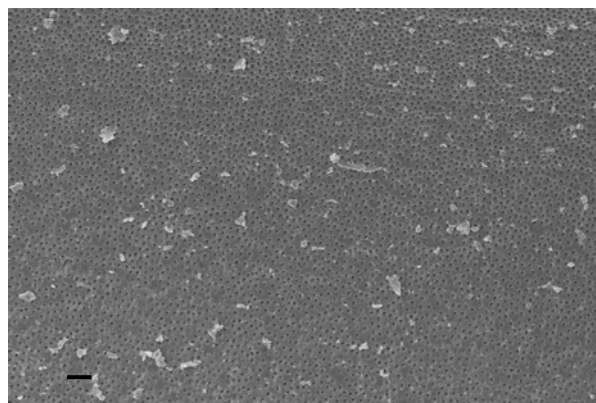
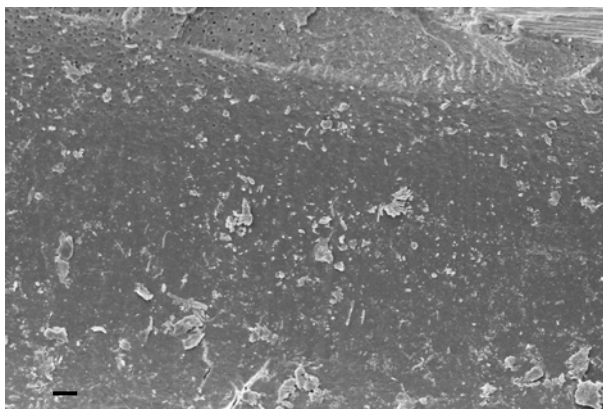
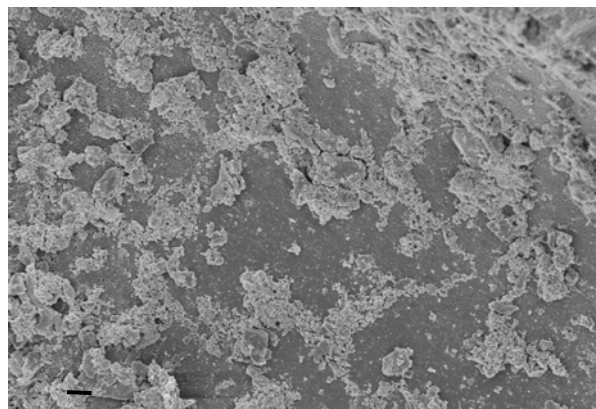
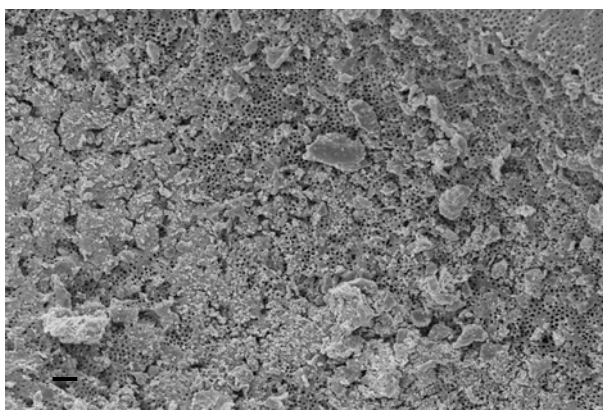
Die Wurzelhälften wurden luftgetrocknet und anschließend mit einer Goldschicht von 25 – 30 nm bedampft (Sputter Coater BAL-TEC SCD 005, BAL-TEC AG, Balzers, Liechtenstein) und im Rasterelektronenmikroskop LEO 1450 VP (Leo Elektronenmikroskopie GmbH, Oberkochen, Deutschland) im apikalen, mittleren und koronalen Wurzelkanalbereich bei verschiedenen Vergrößerungen betrachtet.

#### 4.3.1 Bewertung von Debris und Schmierschicht

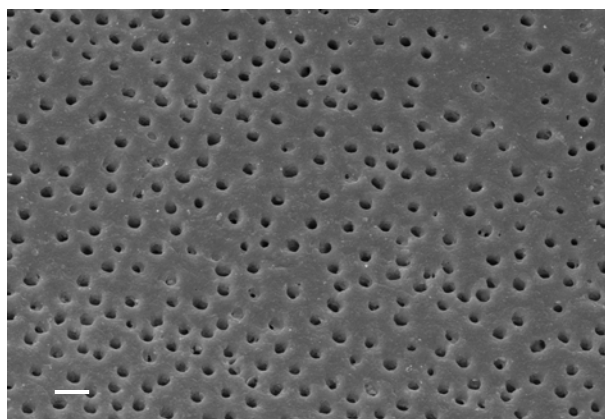
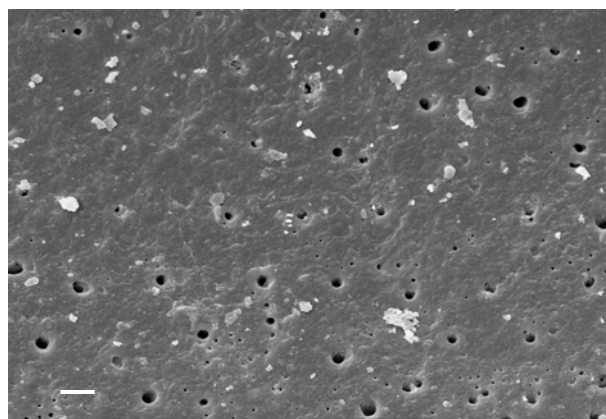
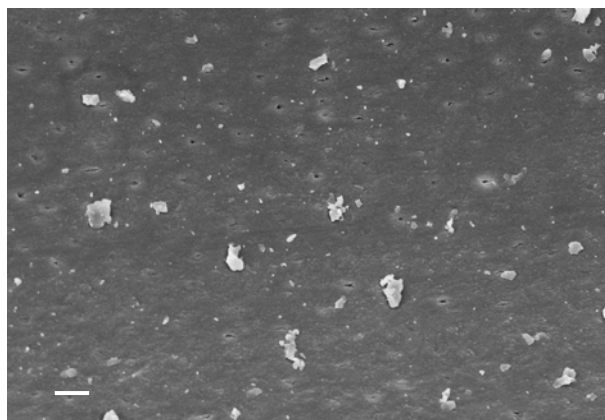
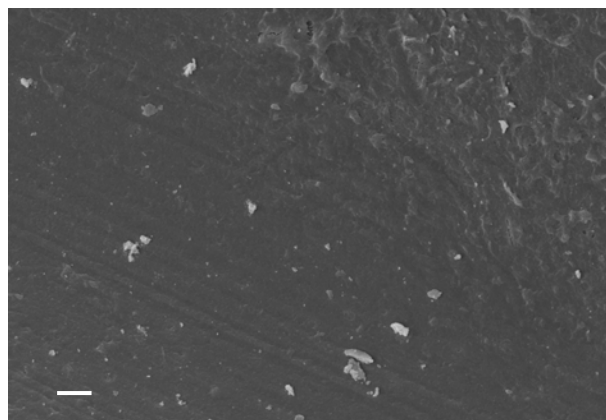
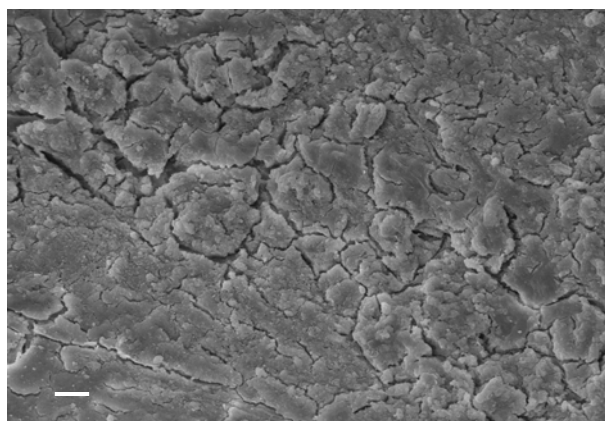
Debris und Schmierschicht wurden in den Graduierungen 0 bis 4 nach Hülsmann et al. (1997) erfasst (Abb. 29, 30 Tab. 11) und fotografisch dokumentiert. Dabei wurden neben einer Übersichtsaufnahme (Vergrößerung: 10 – 25fach) Vergrößerungsstufen von 250fach bis zu 1.000fach verwendet. Für die Bewertung der Debris wurde in der Regel die 250fache Vergrößerung herangezogen, zur Bewertung der Schmierschicht diente in der Regel die 1.000fache Vergrößerung.

**Tabelle 11:** Numerische Bewertungsskala von Debris und Schmierschicht nach Hülsmann et al. (1997)

Grad	Debris	Schmierschicht
0	nicht vorhanden, kein Debris	keine Schmierschicht, Dentinkanälchen offen
1	wenige kleine Agglomerationen	wenig Schmierschicht, einige Dentinkanälchen offen
2	viele Agglomerationen, ( $< 50\%$ der Kanalwand)	homogene Schmierschicht, sehr wenige Dentinkanälchen offen
3	viele Agglomerationen, ( $> 50\%$ der Kanalwand)	homogene Schmierschicht, keine eröffneten Dentinkanälchen
4	vollständige oder nahezu vollständige Bedeckung der Kanalwand mit Debris	dicke nicht homogene Schmier- schicht, die die gesamte Kanal- wand bedeckt

**A****B****C****D****E**

**Abbildung 29:** Debris in den Graduierungen 0 bis 4 (A bis E; Vergrößerung: 250x: – = 30 µm) nach Hülsmann et al. (1997)

**A****B****C****D****E**

**Abbildung 30:** Schmierschicht in den Graduierungen 0 bis 4 (A bis E; Vergrößerung: 1000x: – = 10 µm) nach Hülsmann et al. (1997)

### 4.3.2 Bewertung von Oberflächenbeschaffenheit und *Foramen apicale*

Die Oberflächenbeschaffenheit wurde in den Graduierungen 1 bis 3, das *Foramen apicale* in den Graduierungen 0 bis 2 erfasst (Tab. 12) und fotografisch dokumentiert. Dabei wurden neben einer Übersichtsaufnahme (Vergrößerung: 10 – 25fach) Vergrößerungsstufen von bis zu 1.000fach angefertigt. Für die Bewertung wurde in der Regel die 250fache Vergrößerung herangezogen.

**Tabelle 12:** Numerische Bewertungsskala von Oberflächenbeschaffenheit und *Foramen apicale*

Grad	Oberflächenbeschaffenheit	Grad	<i>Foramen apicale</i>
1	eben und gut geglättet	0	frei von Debridement
2	ausreichend geglättet, geringe Spuren von den Aufbereitungsinstrumenten	1	Debridement vorhanden
3	unzureichend (starke Unregelmäßigkeiten und Schliffspuren)	2	Apex verblockt

### 4.4 Statistische Methoden

Die Daten wurden mit dem Statistikprogramm SPSS (Version 11.5) bearbeitet. Die Ergebnisdarstellung erfolgte zunächst deskriptiv, wobei Mittelwerte und Standardabweichungen berechnet wurden. Zur Effizienzbewertung der Behandlungsmethoden wurden der Kruskal-Wallis- und Mann-Whitney-Test herangezogen. Die Signifikanz wurde auf  $p \leq 0,05$  festgelegt.

## 5 Ergebnisse

### 5.1 Gesamtbewertung verschiedener Wurzelkanalaufbereitungsverfahren

In der vorliegenden Untersuchung wurden 40 Wurzelkanäle nach 8 verschiedenen Aufbereitungsmethoden bearbeitet und anschließend die Wurzelkanaloberflächen (n = 40 Innenkurvatur, n = 40 Aussenkurvatur) an Hand von vier Bewertungskriterien (Debris, Oberflächenbeschaffenheit, Schmierschicht und *Foramen apicale*) rasterelektronenmikroskopisch evaluiert. Die Ergebnisdarstellung zu den unterschiedlichen Verfahren der Wurzelkanalaufbereitung soll zunächst deskriptiv innerhalb der Gruppen 1 bis 8 erfolgen (Abb. 31, 32).

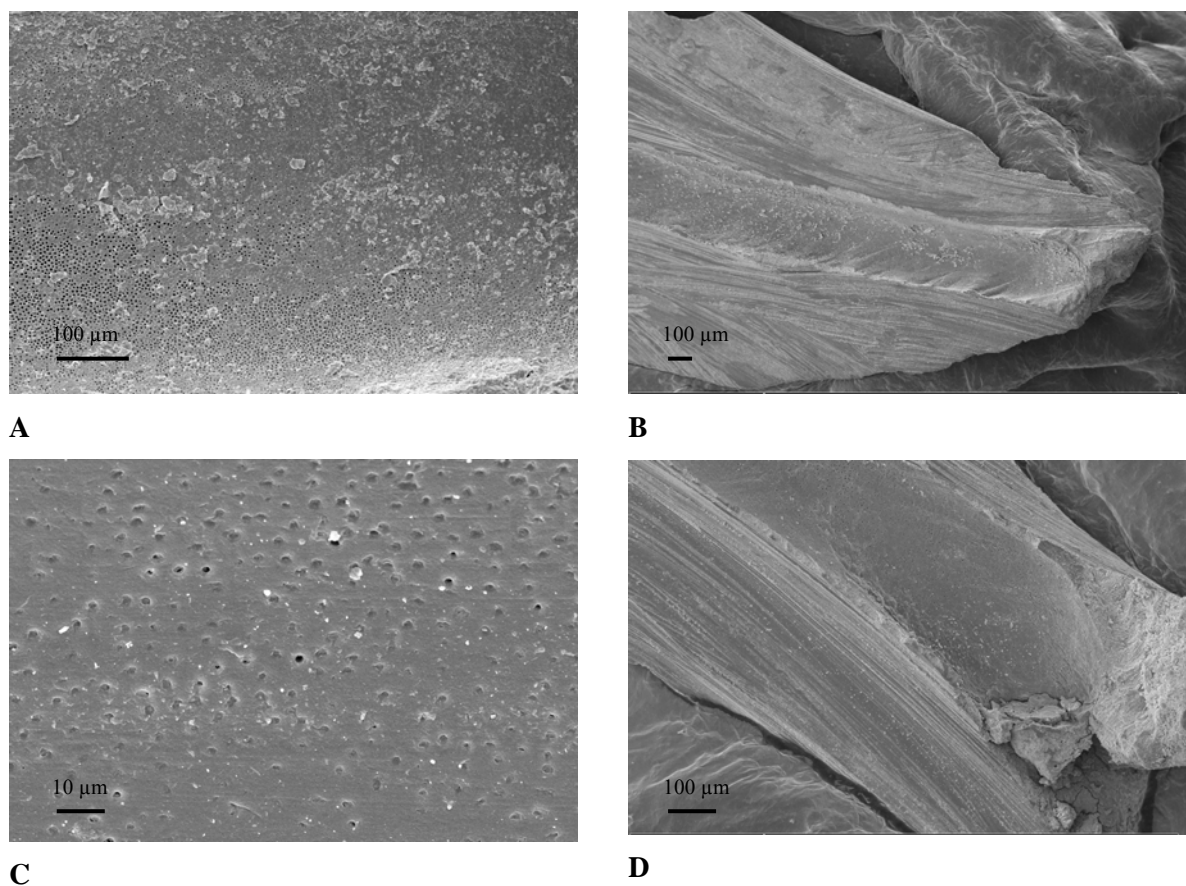
Unabhängig von den Wurzelkanalaufbereitungsverfahren (Abb. 32) kam Debris in den Graden 0 bis 2 vor. Debris war nicht nachweisbar (Grad 0) oder es lagen wenige kleine (Grad 1) oder viele Agglomerationen vor, die weniger als 50 % der Kanalwand bedeckten (Grad 2). Auf den Oberflächen der inneren Wurzelkanaldrittel lag innerhalb dieser Graduierungen von koronal nach apikal in der Regel kaum bzw. nur ein leichter Anstieg vor. Die gleiche Situation lag auf den äußeren Wänden der Wurzelkanaldrittel vor (Tab. 13). Bei Betrachtung der verschiedenen Verfahren lagen nur in den Gruppen 1 (*Modifizierte „Balanced-force-Technik“, K-Flexoreamer*), 2 (*Modifizierte „Balanced-force-Technik“, K-Flexofile*) und 5 (*Modifizierte „Crown-down-Technik“, Edelstahl-ENDOfash*) mittlere Werte für Debris von > 1 apikal an den Innenflächen vor.

Die Beurteilung der Oberflächenbeschaffenheit erfolgte in den Graduierungen von 1 bis 3, also eben und sehr gut geglättet (Grad 1), ausreichend geglättet und geringe Spuren von den Aufbereitungsinstrumenten (Grad 2) bzw. starke Unregelmäßigkeiten und Schliffspuren vorhanden (Grad 3). Die Mittelwerte sind auf die Gruppen bezogen in Tabelle 14 dargestellt. Eine Verschlechterung der Oberflächenbeschaffenheit deutet sich von koronal nach apikal an der äußeren Wurzelkanalhälfte in allen Gruppen – mit Ausnahme der Gruppe 8 (*Modifizierte „Crown-down-Technik“, K3*) – an. Insgesamt lag mehrheitlich aber eine gut geglättete Oberfläche vor.

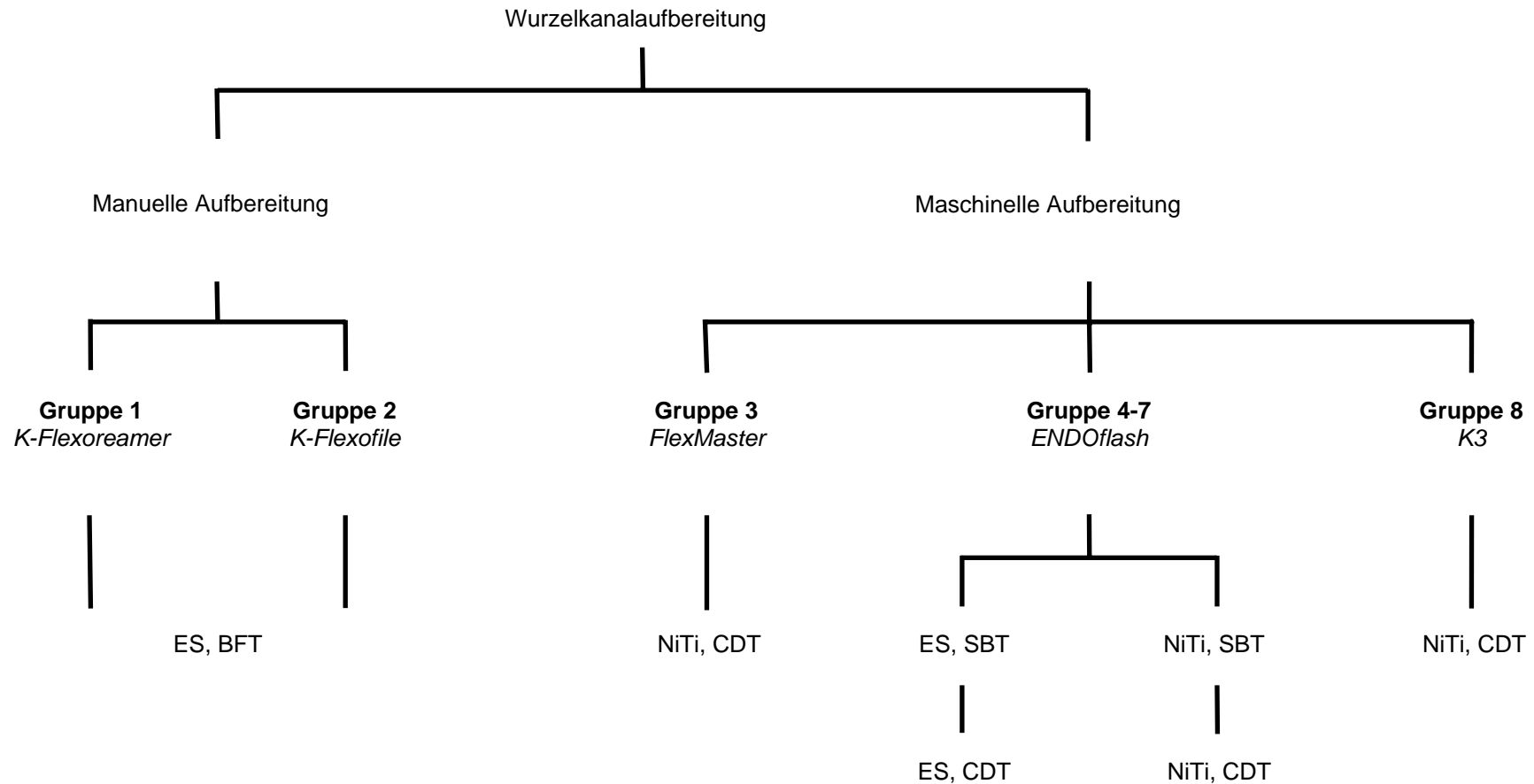
Die Schmierschicht war in den Graduierungen von 0 bis 3 vorhanden. Entweder war sie nicht nachweisbar (Grad 0), es lag nur wenig Schmierschicht vor (Grad 1) oder eine homogene Schmierschicht bedeckte nahezu die gesamte Kanalwand mit einigen offenen (Grad 2) bzw. keinen offenen Dentinkanälchen (Grad 3). Die auf die jeweilige Gruppe bezogenen Mittelwerte sind in Tabelle 15 dargestellt. Von koronal nach apikal nahm die Schmierschicht

generell zu und erreichte im Mittel den Grad 2; die Werte der Gruppe 3 (*Modifizierte „Crown-down-Technik“, FlexMaster*) lagen am höchsten.

Nahe des *Foramen apicale* kamen nach manueller Wurzelkanalaufbereitung alle drei Graduierungen vor (Grad 0: frei von Debridement, Grad 1: Debridement vorhanden, Grad 2: Apex verblockt) und nach maschineller Aufbereitung lediglich die Graduierungen 0 und 1 (Gruppe 3 bis 7) bzw. nur die Graduierung 1 (Gruppe 8). Die Befunde sind in Tabelle 16 zusammengefasst. Die Gruppen 1 und 2 schlossen am schlechtesten ab.



**Abbildung 31:** Debris Grad 2 nach *Modifizierter „Crown-down-Technik“, K3* (A), Oberflächenbeschaffenheit Grad 1 nach *Modifizierter „Balanced-force-Technik“, K-Flexofile* (B), Schmierschicht Grad 2 nach *Modifizierter „Crown-down-Technik“, FlexMaster* (C), *Foramen apicale* Grad 2 nach *Modifizierter „Balanced-force-Technik“, K-Flexofile* (D)



**Abbildung 32:** **Gruppe 1:** Modifizierte „Balanced-force-Technik“, K-Flexoreamer, **Gruppe 2:** Modifizierte „Balanced-force-Technik“, K-Flexofile, **Gruppe 3:** Modifizierte „Crown-down-Technik“, FlexMaster, **Gruppe 4:** „Step-back-Technik“, Edelstahl-ENDOfash, **Gruppe 5:** Modifizierte „Crown-down-Technik“, Edelstahl-ENDOfash, **Gruppe 6:** „Step-back-Technik“, Nickel-Titan-ENDOfash, **Gruppe 7:** Modifizierte „Crown-down-Technik“, Nickel-Titan-ENDOfash, **Gruppe 8:** Modifizierte „Crown-down-Technik“, K3, ES = Edelstahl, BFT = Modifizierte „Balanced-force-Technik“, NiTi = Nickel-Titan, CDT = Modifizierte „Crown-down-Technik“, SBT = „Step-back-Technik“



**Tabelle 13:** Zum Vorkommen von Debris ( $\bar{x} \pm SD$ ) nach unterschiedlichen Verfahren der Wurzelkanalaufbereitung (Graduierungen von 0 bis 4, **Grad 0** nicht vorhanden, kein Debris, **Grad 1** wenige kleine Agglomerationen, **Grad 2** viele Agglomerationen, (< 50% der Kanalwand), **Grad 3** viele Agglomerationen, (> 50% der Kanalwand), **Grad 4** vollständige oder nahezu vollständige Bedeckung der Kanalwand mit Debris)

Gruppen	Anzahl	Wurzelkanal		Mitte		Apikal	
		Koronal Innen	Außen	Innen	Außen	Innen	Außen
<b>Gruppe 1</b>	n=5	0,4 ± 0,548	0	0	0,2 ± 0,447	1,0 ± 0	0,6 ± 0,548
<b>Gruppe 2</b>	n=5	0,4 ± 0,548	0,4 ± 0,548	0,4 ± 0,548	1,0 ± 0	1,2 ± 0,447	0,8 ± 0,447
<b>Gruppe 3</b>	n=5	0,6 ± 0,548	0,8 ± 0,447	0,2 ± 0,447	0,6 ± 0,548	0,2 ± 0,447	0,6 ± 0,548
<b>Gruppe 4</b>	n=5	0,2 ± 0,447	0,2 ± 0,447	0	0,4 ± 0,548	0,8 ± 0,447	0,6 ± 0,548
<b>Gruppe 5</b>	n=5	1,0 ± 0,707	0,6 ± 0,548	1,2 ± 0,447	1,0 ± 0	1,2 ± 0,837	1,0 ± 0,707
<b>Gruppe 6</b>	n=5	0,6 ± 0,548	0,6 ± 0,894	0,4 ± 0,548	0,4 ± 0,548	0,6 ± 0,548	0,6 ± 0,548
<b>Gruppe 7</b>	n=5	0,6 ± 0,548	1,0 ± 0	0,6 ± 0,548	0,8 ± 0,447	0,4 ± 0,548	0,8 ± 0,837
<b>Gruppe 8</b>	n=5	1,6 ± 0,894	1,4 ± 0,548	0,6 ± 0,548	0,6 ± 0,548	0,8 ± 0,447	1,4 ± 0,548

**Gruppe 1:** Modifizierte „Balanced-force-Technik“, K-Flexoreamer, **Gruppe 2:** Modifizierte „Balanced-force-Technik“, K-Flexofile, **Gruppe 3:** Modifizierte „Crown-down-Technik“, FlexMaster, **Gruppe 4:** „Step-back-Technik“, Edelstahl-ENDOfash, **Gruppe 5:** Modifizierte „Crown-down-Technik“, Edelstahl-ENDOfash, **Gruppe 6:** „Step-back-Technik“, Nickel-Titan-ENDOfash, **Gruppe 7:** Modifizierte „Crown-down-Technik“, Nickel-Titan-ENDOfash, **Gruppe 8:** Modifizierte „Crown-down-Technik“, K3

**Tabelle 14:** Zur Oberflächenbeschaffenheit ( $\bar{x} \pm SD$ ) der Wurzelkanalabschnitte nach unterschiedlichen Verfahren der Wurzelkanalaufbereitung, (Graduierungen von 1 bis 3, **Grad 1** eben und gut geglättet, **Grad 2** ausreichend geglättet, geringe Spuren von den Aufbereitungsinstrumenten, **Grad 3** unzureichend, starke Unregelmäßigkeiten und Schliffspuren)

Gruppen	Anzahl	Wurzelkanal		Mitte		Apikal	
		Koronal Innen	Außen	Innen	Außen	Innen	Außen
<b>Gruppe 1</b>	n=5	1,2 $\pm$ 0,447	1,2 $\pm$ 0,447	1,8 $\pm$ 0,447	1,2 $\pm$ 0,447	1,0 $\pm$ 0	2,0 $\pm$ 0
<b>Gruppe 2</b>	n=5	1,0 $\pm$ 0	1,4 $\pm$ 0,548	1,0 $\pm$ 0	1,2 $\pm$ 0,447	1,4 $\pm$ 0,548	2,4 $\pm$ 0,548
<b>Gruppe 3</b>	n=5	1,0 $\pm$ 0	1,0 $\pm$ 0	1,0 $\pm$ 0	1,4 $\pm$ 0,548	1,0 $\pm$ 0	1,8 $\pm$ 0,447
<b>Gruppe 4</b>	n=5	1,0 $\pm$ 0	1,0 $\pm$ 0	1,2 $\pm$ 0,447	1,0 $\pm$ 0	1,2 $\pm$ 0,447	1,8 $\pm$ 0,447
<b>Gruppe 5</b>	n=5	1,2 $\pm$ 0,447	1,0 $\pm$ 0	1,2 $\pm$ 0,447	1,2 $\pm$ 0,447	1,8 $\pm$ 0,447	2,0 $\pm$ 0
<b>Gruppe 6</b>	n=5	1,2 $\pm$ 0,447	1,2 $\pm$ 0,447	1,2 $\pm$ 0,447	1,0 $\pm$ 0	1,8 $\pm$ 0,447	1,8 $\pm$ 0,447
<b>Gruppe 7</b>	n=5	1,4 $\pm$ 0,548	1,2 $\pm$ 0,447	1,2 $\pm$ 0,447	1,4 $\pm$ 0,548	2,0 $\pm$ 0	2,0 $\pm$ 0
<b>Gruppe 8</b>	n=5	1,0 $\pm$ 0	1,0 $\pm$ 0	1,0 $\pm$ 0	1,0 $\pm$ 0	1,0 $\pm$ 0	1,0 $\pm$ 0

**Gruppe 1:** Modifizierte „Balanced-force-Technik“, K-Flexoreamer, **Gruppe 2:** Modifizierte „Balanced-force-Technik“, K-Flexofile, **Gruppe 3:** Modifizierte „Crown-down-Technik“, FlexMaster, **Gruppe 4:** „Step-back-Technik“, Edelstahl-ENDOfash, **Gruppe 5:** Modifizierte „Crown-down-Technik“, Edelstahl-ENDOfash, **Gruppe 6:** „Step-back-Technik“, Nickel-Titan-ENDOfash, **Gruppe 7:** Modifizierte „Crown-down-Technik“, Nickel-Titan-ENDOfash, **Gruppe 8:** Modifizierte „Crown-down-Technik“, K3

**Tabelle 15:** Zur Schmierschicht ( $\bar{x} \pm SD$ ) der Wurzelkanalabschnitte nach unterschiedlichen Verfahren der Wurzelkanalaufbereitung (Graduierungen von 0 bis 4, **Grad 0** keine Schmierschicht, Dentinkanälchen offen, **Grad 1** wenig Schmierschicht, einige Dentinkanälchen offen, **Grad 2** homogene Schmierschicht, sehr wenige Dentinkanälchen offen, **Grad 3** homogene Schmierschicht, keine eröffneten Dentinkanälchen, **Grad 4** dicke nicht homogene Schmierschicht, die die gesamte Kanalwand bedeckt)

Gruppen	Anzahl	Wurzelkanal		Mitte		Apikal	
		Koronal Innen	Außen	Innen	Außen	Innen	Außen
<b>Gruppe 1</b>	n=5	1,2 ± 0,447	0,8 ± 0,447	1,4 ± 0,548	0,6 ± 0,548	1,8 ± 0,447	1,4 ± 0,548
<b>Gruppe 2</b>	n=5	0,4 ± 0,548	1,0 ± 0	1,4 ± 0,548	0,6 ± 0,548	2,2 ± 1,095	1,4 ± 0,548
<b>Gruppe 3</b>	n=5	1,8 ± 0,447	1,8 ± 0,447	2,2 ± 0,447	1,8 ± 0,447	2,6 ± 0,548	2,6 ± 0,548
<b>Gruppe 4</b>	n=5	0,8 ± 0,447	0,6 ± 0,548	0,8 ± 0,447	1,0 ± 0	1,0 ± 0	1,4 ± 0,548
<b>Gruppe 5</b>	n=5	1,2 ± 0,447	1,0 ± 0	0,8 ± 0,447	1,2 ± 0,447	1,8 ± 0,447	1,8 ± 0,447
<b>Gruppe 6</b>	n=5	1,6 ± 0,548	0,2 ± 0,447	2,2 ± 1,095	0,6 ± 0,894	2,0 ± 0,707	1,6 ± 0,548
<b>Gruppe 7</b>	n=5	1,4 ± 0,894	0,8 ± 0,837	1,8 ± 0,447	1,6 ± 1,140	2,0 ± 0,707	2,4 ± 0,548
<b>Gruppe 8</b>	n=5	1,4 ± 0,894	1,0 ± 0	1,8 ± 0,447	1,6 ± 0,548	2,4 ± 0,548	2,4 ± 0,548

**Gruppe 1:** Modifizierte „Balanced-force-Technik“, K-Flexoreamer, **Gruppe 2:** Modifizierte „Balanced-force-Technik“, K-Flexofile, **Gruppe 3:** Modifizierte „Crown-down-Technik“, FlexMaster, **Gruppe 4:** „Step-back-Technik“, Edelstahl-ENDOfash, **Gruppe 5:** Modifizierte „Crown-down-Technik“, Edelstahl-ENDOfash, **Gruppe 6:** „Step-back-Technik“, Nickel-Titan-ENDOfash, **Gruppe 7:** Modifizierte „Crown-down-Technik“, Nickel-Titan-ENDOfash, **Gruppe 8:** Modifizierte „Crown-down-Technik“, K3

**Tabelle 16:** Zum *Foramen apicale* ( $\bar{x} \pm SD$ ) nach unterschiedlichen Verfahren der Wurzelkanalaufbereitung (Graduierungen von 0 bis 2, **Grad 0** frei von Debridement, **Grad 1** Debridement vorhanden, **Grad 2** Apex verblockt)

Gruppen	Anzahl	<i>Foramen apicale</i>
<b>Gruppe 1</b>	n=5	1,4 $\pm$ 0,548
<b>Gruppe 2</b>	n=5	1,0 $\pm$ 0,707
<b>Gruppe 3</b>	n=5	0,2 $\pm$ 0,447
<b>Gruppe 4</b>	n=5	0,4 $\pm$ 0,548
<b>Gruppe 5</b>	n=5	0,6 $\pm$ 0,548
<b>Gruppe 6</b>	n=5	0,4 $\pm$ 0,548
<b>Gruppe 7</b>	n=5	0,8 $\pm$ 0,447
<b>Gruppe 8</b>	n=5	1,0 $\pm$ 0

**Gruppe 1:** Modifizierte „Balanced-force-Technik“, K-Flexoreamer, **Gruppe 2:** Modifizierte „Balanced-force-Technik“, K-Flexofile, **Gruppe 3:** Modifizierte „Crown-down-Technik“, FlexMaster, **Gruppe 4:** „Step-back-Technik“, Edelstahl-ENDOfash, **Gruppe 5:** Modifizierte „Crown-down-Technik“, Edelstahl-ENDOfash, **Gruppe 6:** „Step-back-Technik“, Nickel-Titan-ENDOfash, **Gruppe 7:** Modifizierte „Crown-down-Technik“, Nickel-Titan-ENDOfash, **Gruppe 8:** Modifizierte „Crown-down-Technik“, K3

Bei Betrachtung der Summe der Medianwerte (Anhang Tab. 1) der Kriterien Debris, Oberflächenbeschaffenheit, Schmierschicht und *Foramen apicale* konnte nachfolgend eine Rangfolge unter den Gruppen 1 bis 8 von Rang I bis VII berechnet werden, die in Tabelle 17 dokumentiert ist.

Insgesamt entsprachen die dicht beieinander liegenden Mediane (15 bis 25, Tab. 17) einer guten Wurzelkanalaufbereitung. Die ersten drei Ränge (I – III) wurden von Verfahren belegt (Gruppe 1, 2 und 4), bei denen die Wurzelkanalaufbereitung durch Edelstahlinstrumente durchgeführt wurde bzw. die Wurzelkanalaufbereitung von apikal nach koronal erfolgte. Rang I belegte Gruppe 4 mit maschineller Wurzelkanalaufbereitung („Step-back-Technik“, Edelstahl-ENDOfash). Rang IV wurde von Gruppe 6 mit maschineller „Step-back-Technik“ und NiTi-Instrumenten eingenommen, Rang V von Gruppe 5 mit Modifizierter „Crown-down-Technik“ und maschinell eingesetzten Edelstahlinstrumenten. Die Ränge VI und VII waren durch die maschinelle Anwendung von NiTi-Feilen in Modifizierter „Crown-down-Technik“ gekennzeichnet und wurden von den Gruppen 3, 7 und 8 eingenommen.

**Tabelle 17:** Rangfolge der Wurzelkanalaufbereitungen nach Summation der Mediane für die Kriterien Debris, Oberflächenbeschaffenheit, Schmierschicht und *Foramen apicale*

<b>Gruppen</b>	<b>Summe der Mediane</b> (Debris, Oberflächenbeschaffenheit, Schmierschicht und <i>Foramen apicale</i> )	<b>Rang</b>
<b>Gruppe 1</b>	18	<b>III</b>
<b>Gruppe 2</b>	17	<b>II</b>
<b>Gruppe 3</b>	24	<b>VI</b>
<b>Gruppe 4</b>	15	<b>I</b>
<b>Gruppe 5</b>	23	<b>V</b>
<b>Gruppe 6</b>	19	<b>IV</b>
<b>Gruppe 7</b>	25	<b>VII</b>
<b>Gruppe 8</b>	25	<b>VII</b>

**Gruppe 1:** Modifizierte „Balanced-force-Technik“, K-Flexoreamer, **Gruppe 2:** Modifizierte „Balanced-force-Technik“, K-Flexofile, **Gruppe 3:** Modifizierte „Crown-down-Technik“, FlexMaster, **Gruppe 4:** „Step-back-Technik“, Edelstahl-ENDOfash, **Gruppe 5:** Modifizierte „Crown-down-Technik“, Edelstahl-ENDOfash, **Gruppe 6:** „Step-back-Technik“, Nickel-Titan-ENDOfash, **Gruppe 7:** Modifizierte „Crown-down-Technik“, Nickel-Titan-ENDOfash, **Gruppe 8:** Modifizierte „Crown-down-Technik“, K3

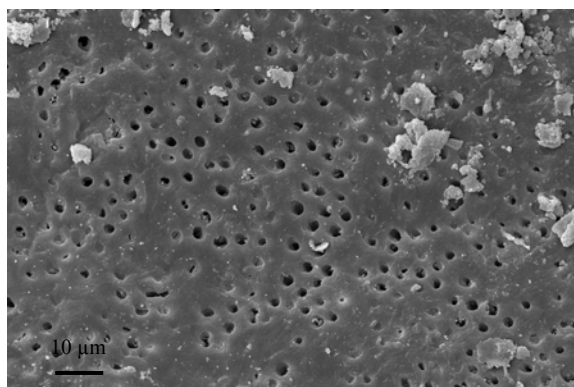
Auf der Grundlage der vorliegenden Ergebnisse wurde zur weiterführenden Ergebnisanalyse eine Neugruppierung der Gruppen 1 bis 8 vorgenommen. Damit sollten Aussagen zur manuellen und maschinellen Vorgehensweise untermauert werden, Aussagen zum Material der Feilen, zur Aufbereitungstechnik selbst und zur Abhängigkeit der Reinigungswirkung von der Konizität der verwendeten Instrumente.

## **5.2 Bewertung der manuellen versus maschinellen Wurzelkanalaufbereitung**

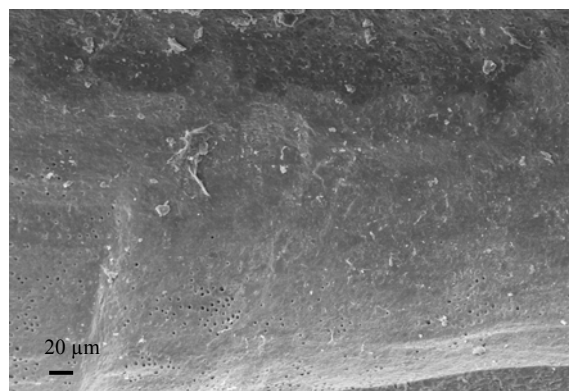
Zur Bewertung der manuellen versus maschinellen Wurzelkanalaufbereitung wurden zwei Gruppen gebildet (Abb. 33, 34). Die Ergebnisse von Debris, Oberflächenbeschaffenheit, Schmierschicht und *Foramen apicale* beider Gruppen sind in den Anhangstabellen 2 bis 5 dargestellt und die statistische Bewertung in Tabelle 18.

Bei der Entfernung der Debris erwies sich die maschinelle Aufbereitung im apikalen Drittel der Innenkurvatur ( $p = 0,031$ , Tab. 18) wirkungsvoller; weiterhin wies die Kanalwand des apikalen Kanalabschnittes der Außenkurvatur weniger Aufbereitungsspuren auf ( $p = 0,018$ , Tab. 18) und zeigte keine Verblockungen im Bereich des *Foramen apicale* ( $p = 0,005$ ,

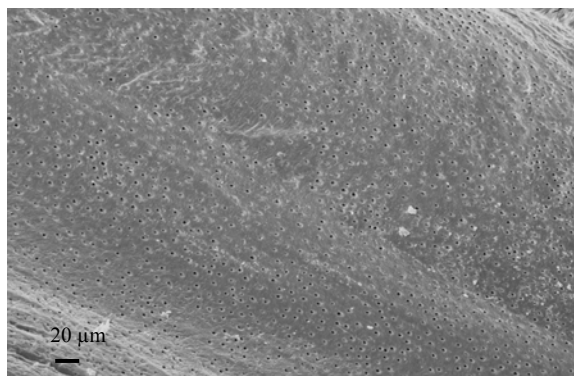
Tab. 18). Die manuelle Wurzelkanalaufbereitung hinterließ im apikalen und mittleren Drittel ( $p = 0,014$ ,  $p = 0,010$ , Tab. 18) der Außenkurvatur weniger Schmierschicht.



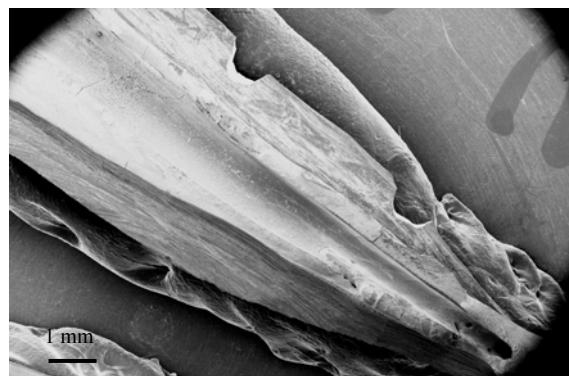
**A**



**B**

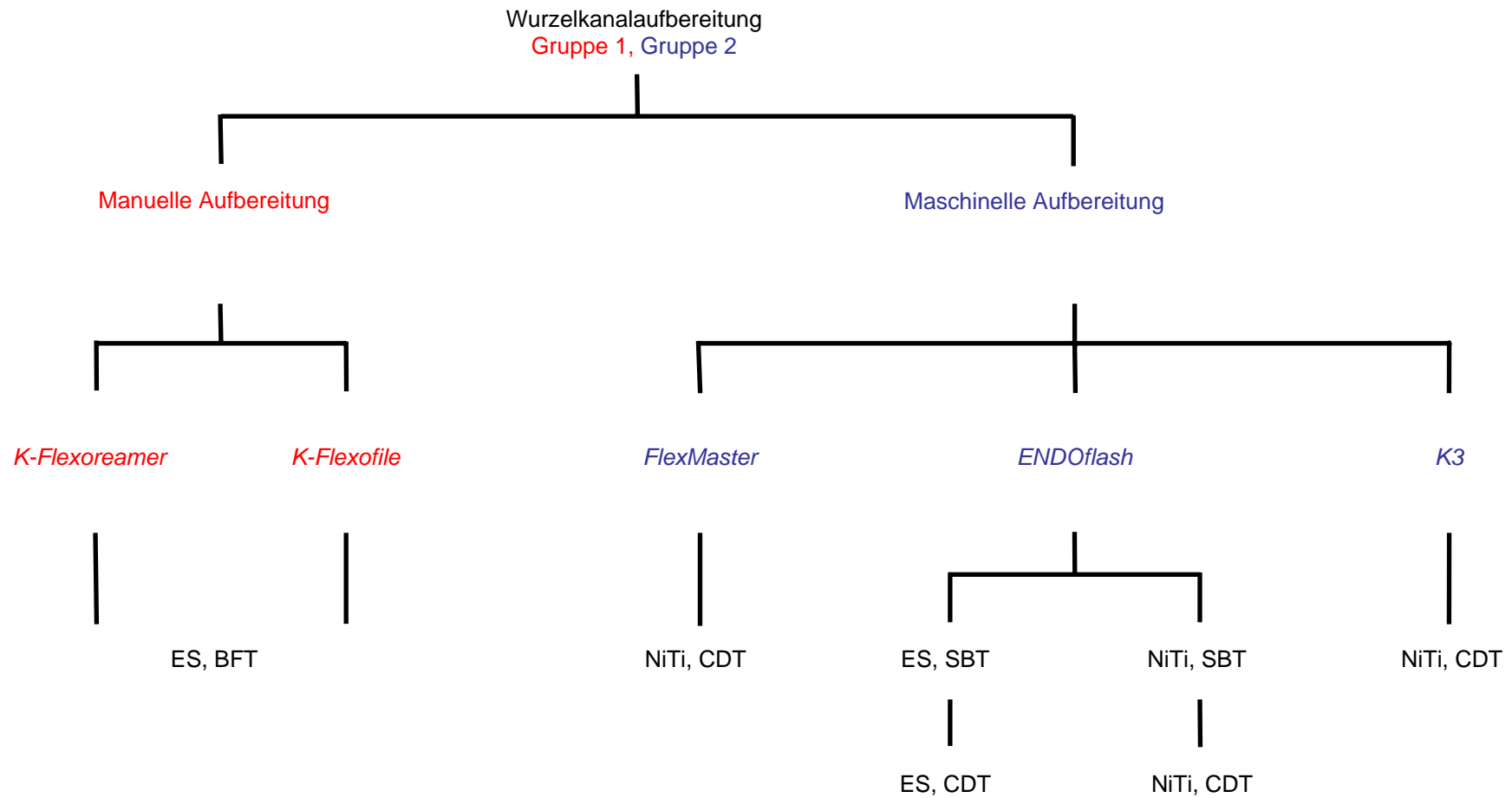


**C**



**D**

**Abbildung 33:** Debris Grad 1 nach maschineller Aufbereitung (A), Oberflächenbeschaffenheit Grad 0 nach maschineller Aufbereitung (B), Schmierschicht Grad 0 nach manueller Aufbereitung (C), *Foramen apicale* Grad 0 nach maschineller Aufbereitung (D)



**Abbildung 34:** Kombination I (Manuell gegenüber Maschinell), **Gruppe 1:** Modifizierte „Balanced-force-Technik“, *K-Flexoreamer* und *K-Flexofile*, **Gruppe 2:** Modifizierte „Crown-down-Technik“, *FlexMaster*, *Edelstahl-ENDOfash*, *Nickel-Titan-ENDOfash*, *K3* und „Step-back-Technik“, *Edelstahl-ENDOfash*, *Nickel-Titan-ENDOfash*, maschinell (ES = *Edelstahl*, BFT = Modifizierte „Balanced-force-Technik“, NiTi = *Nickel-Titan*, CDT = Modifizierte „Crown-down-Technik“, SBT = „Step-back-Technik“)

**Tabelle 18:** Statistische Auswertung (Mann-Whitney-Test, p-Werte,  $p < 0,05$  signifikant) der Kriterien Debris, Oberflächenbeschaffenheit, Schmierschicht und *Foramen apicale* nach Wurzelkanalaufbereitung für die Kombination I\* (Manuell – Maschinell)

<i>Debris</i>						
<b>Innenkurvatur</b>			<b>Außenkurvatur</b>			
<b>k</b>	<b>m</b>	<b>a</b>	<b>k</b>	<b>m</b>	<b>a</b>	
0,207	0,188	<b>0,031</b>	<b>0,015</b>	1,000	0,76	
<i>Oberflächenbeschaffenheit</i>						
<b>Innenkurvatur</b>			<b>Außenkurvatur</b>			
<b>k</b>	<b>m</b>	<b>a</b>	<b>k</b>	<b>m</b>	<b>a</b>	
1,000	0,165	0,263	0,089	1,000	<b>0,018</b>	
<i>Schmierschicht</i>						
<b>Innenkurvatur</b>			<b>Außenkurvatur</b>			
<b>k</b>	<b>m</b>	<b>a</b>	<b>k</b>	<b>m</b>	<b>a</b>	
<b>0,027</b>	0,484	1,000	0,795	<b>0,010</b>	<b>0,014</b>	
<i>Foramen apicale</i>						
<b>0.005</b>						

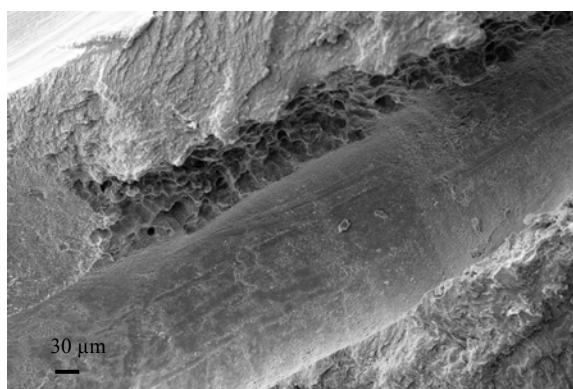
\* **Gruppe 1 (n = 10):** Modifizierte „Balanced-force-Technik“, K-Flexoreamer und K-Flexofile, gegenüber **Gruppe 2 (n = 30):** Modifizierte „Crown-down-Technik“, FlexMaster, Edelstahl-ENDOfash, Nickel-Titan-ENDOfash, K3 und „Step-back-Technik“, Edelstahl-ENDOfash, Nickel-Titan-ENDOfash, **k** = Koronal, **m** = Mitte, **a** = Apikal

### 5.3 Zur Bewertung von Edelstahl- versus NiTi-Instrumenten

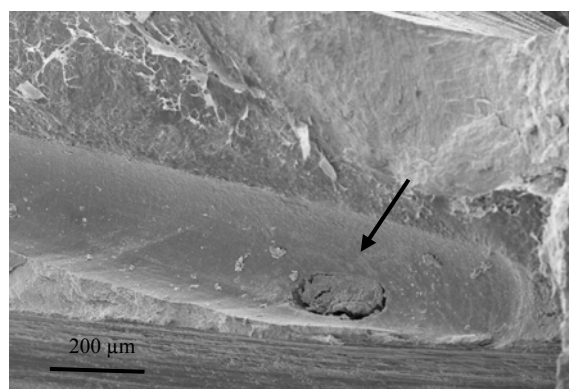
Zur Bewertung von Edelstahl- versus NiTi-Instrumenten wurden ebenso zwei Gruppen gebildet (Abb. 35, 36). Die Ergebnisse von Debris, Oberflächenbeschaffenheit, Schmierschicht und *Foramen apicale* beider Gruppen sind in den Anhangstabellen 6 bis 9 zu finden und die statistische Bewertung in Tabelle 19.

Im apikalen Abschnitt der Innenkurvatur war nach Anwendung von NiTi-Instrumenten weniger Debris ( $p = 0,004$ , Tab. 19) zu finden, und das apikale Drittel der Außenkurvatur zeigte eine glattere Oberfläche ( $p = 0,017$ , Tab. 19). In fast allen Kanalwandabschnitten wurde nach der Verwendung von Edelstahlfeilen weniger Schmierschicht nachgewiesen (Innenkurvatur: Koronal  $p = 0,001$ , Mitte 0,000, Apikal  $p = 0,008$ , Außenkurvatur: Mitte 0,012, Apikal  $p = 0,001$ , Tab. 19).

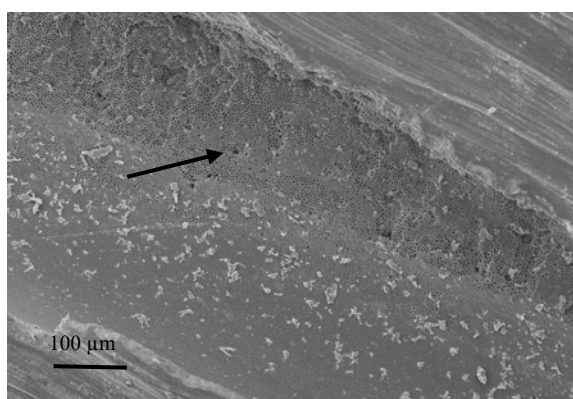




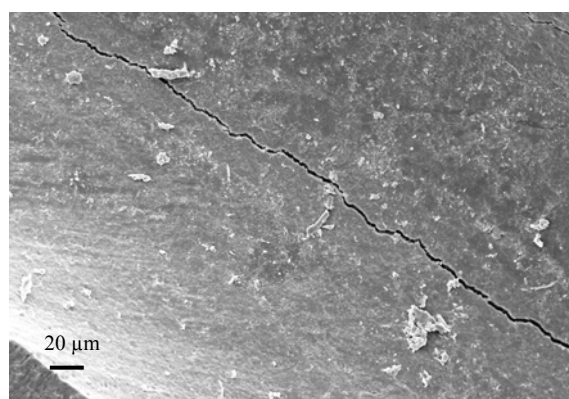
A



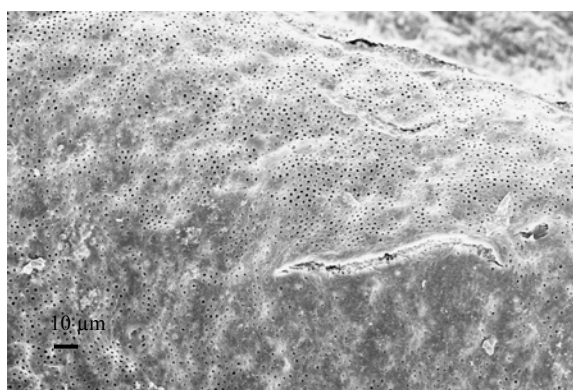
B



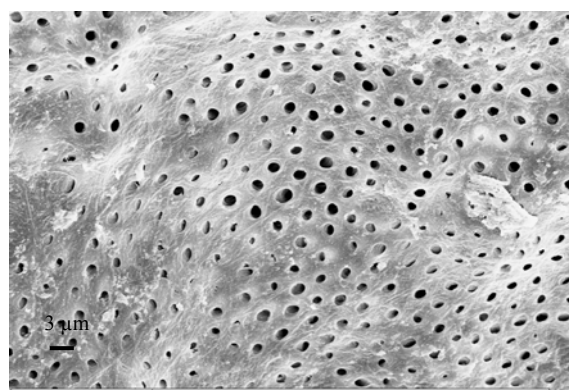
C



D

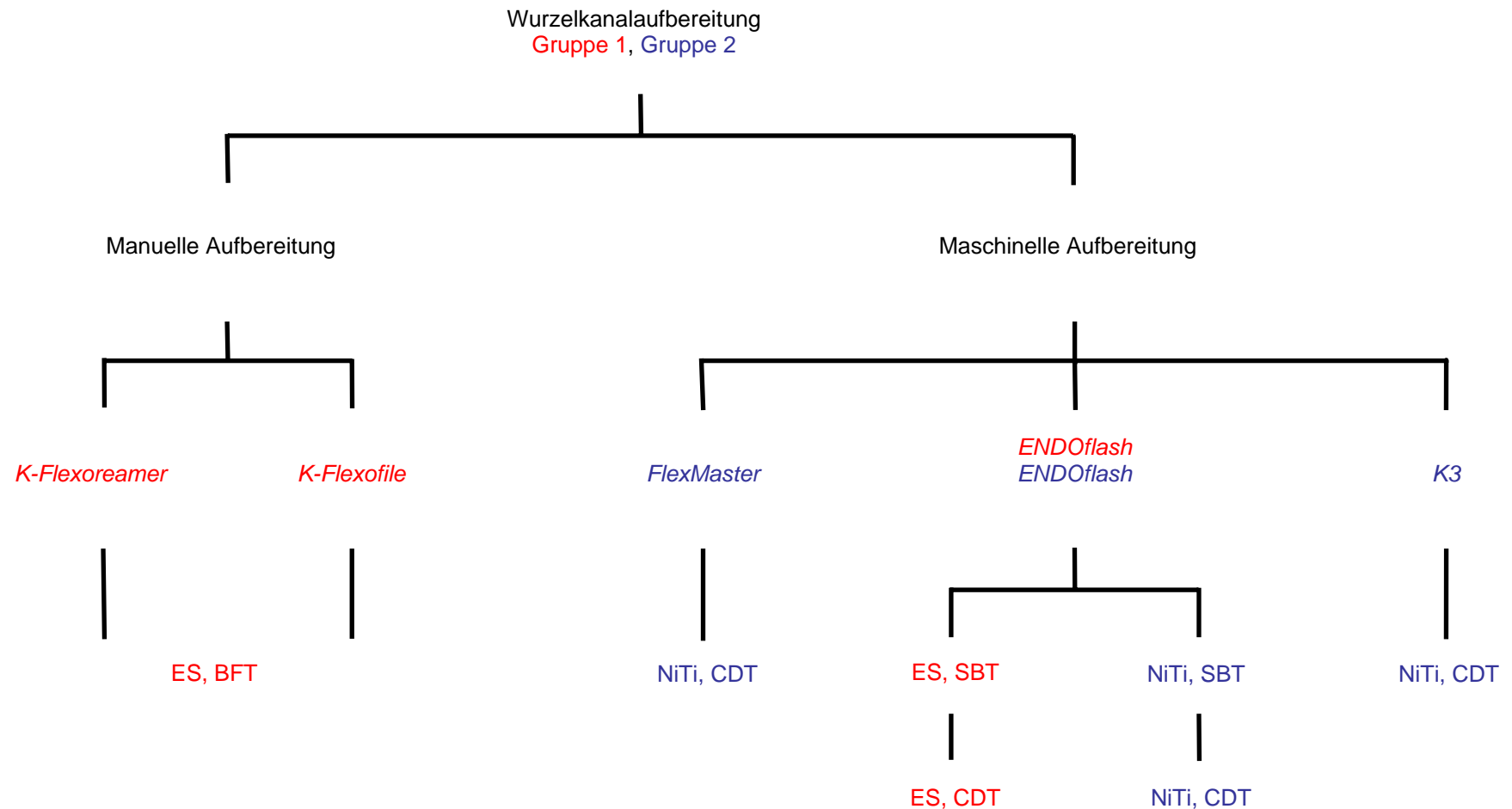


E



F

**Abbildung 35:** Debris Grad 0 (A) und *Foramen apicale* Grad 0 mit peripherem Foramen (Pfeil, B) nach Aufbereitung mit Nickel-Titan-Instrumenten, Oberflächenbeschaffenheit Grad 0 und unbearbeiteter Kanalwandbereich (Pfeil) nach Aufbereitung mit Edelstahl-Instrumenten (C), nach Aufbereitung mit Nickel-Titan-Instrumenten (D), Schmierschicht Grad 0 nach Aufbereitung mit Edelstahl-Instrumenten (E, F)



**Abbildung 36:** Kombination II (Edelstahl – Nickel-Titan), **Gruppe 1:** Modifizierte „Balanced-force-Technik“ + *K-Flexoreamer* und *K-Flexofile*, „Step-back-Technik“ + Edelstahl-*ENDOflash* und Modifizierte „Crown-down-Technik“ + Edelstahl-*ENDOflash* gegenüber **Gruppe 2:** Modifizierte „Crown-down-Technik“ + *FlexMaster*, „Step-back-Technik“ + Nickel-Titan-*ENDOflash*, Modifizierte „Crown-down-Technik“ + Nickel-Titan-*ENDOflash* und Modifizierte „Crown-down-Technik“ + *K3*, (ES = Edelstahl, BFT = Modifizierte „Balanced-force-Technik“, NiTi = Nickel-Titan, CDT = Modifizierte „Crown-down-Technik“, SBT = „Step-back-Technik“)

Tabelle 19: Statistische Auswertung (Mann-Whitney-Test, p-Werte, Signifikanzgrenze  $p < 0,05$ ) der Kriterien Debris, Oberflächenbeschaffenheit, Schmierschicht und *Foramen apicale* nach Wurzelkanalaufbereitung für die Kombination II\* (Edelstahl – Nickel-Titan)

<i>Debris</i>						
<b>Innenkurvatur</b>			<b>Außenkurvatur</b>			
<b>k</b>	<b>m</b>	<b>a</b>	<b>k</b>	<b>m</b>	<b>a</b>	
0,158	0,748	<b>0,004</b>	<b>0,001</b>	1,000	0,781	
<i>Oberflächenbeschaffenheit</i>						
<b>Innenkurvatur</b>			<b>Außenkurvatur</b>			
<b>k</b>	<b>m</b>	<b>a</b>	<b>k</b>	<b>m</b>	<b>a</b>	
1,000	0,235	0,748	1,000	1,000	<b>0,017</b>	
<i>Schmierschicht</i>						
<b>Innenkurvatur</b>			<b>Außenkurvatur</b>			
<b>k</b>	<b>m</b>	<b>a</b>	<b>k</b>	<b>m</b>	<b>a</b>	
<b>0,001</b>	<b>0,000</b>	<b>0,008</b>	0,790	<b>0,012</b>	<b>0,001</b>	
<i>Foramen apicale</i>						
0.290						

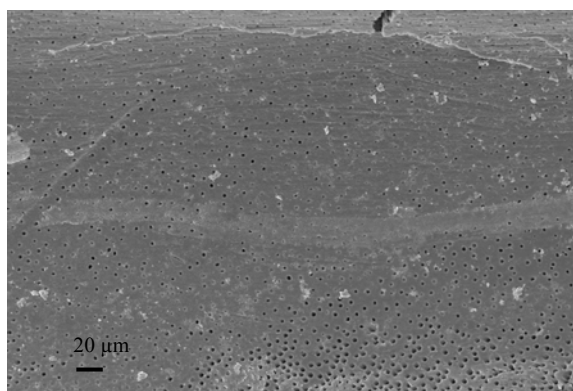
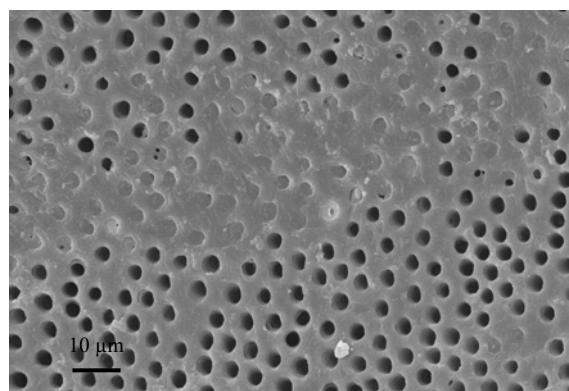
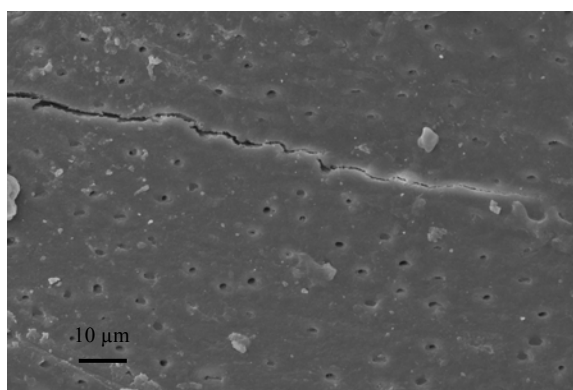
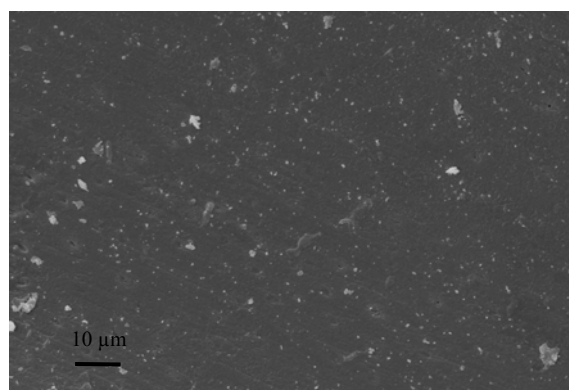
\***Gruppe 1:** Modifizierte „*Balanced-force-Technik*“ + *K-Flexoreamer* und *K-Flexofile*, „*Step-back-Technik*“, + *Edelstahl-ENDOfash* und *Modifizierte „Crown-down-Technik*“ + *Edelstahl-ENDOfash* gegenüber **Gruppe 2:** *Modifizierte „Crown-down-Technik*“ + *FlexMaster*, „*Step-back-Technik*“ + *Nickel-Titan-ENDOfash*, *Modifizierte „Crown-down-Technik*“ + *Nickel-Titan-ENDOfash*, und *Modifizierte „Crown-down-Technik*“ + *K3*, **k** = Koronal, **m** = Mitte, **a** = Apikal

#### 5.4 Zur Bewertung des Einflusses der Aufbereitungstechniken

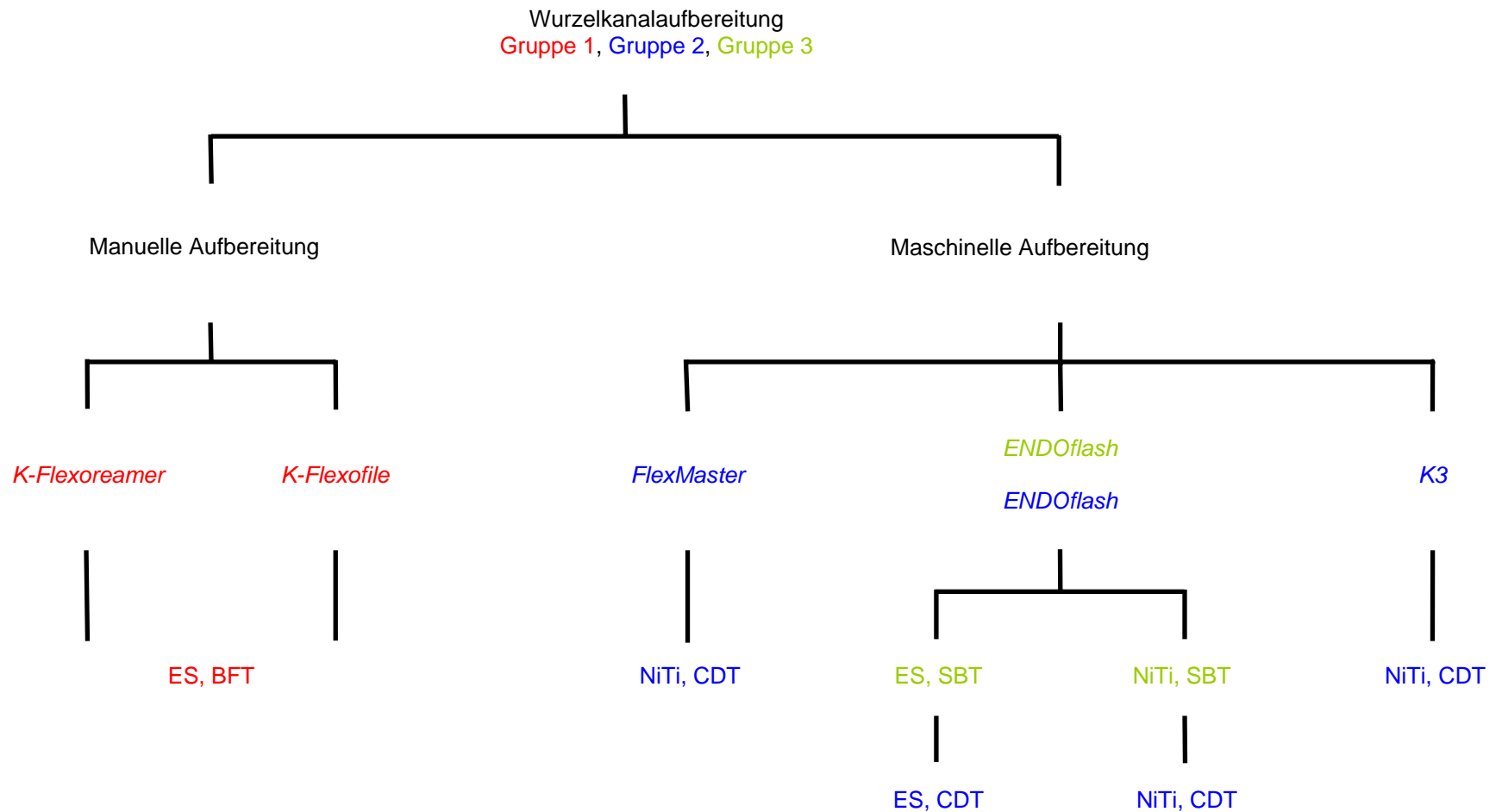
Zur Bewertung des Einflusses der Aufbereitungstechniken auf die Reinigungswirkung im Wurzelkanal wurden drei Gruppen (*Modifizierte „Balanced-force-Technik*“ versus *Modifizierte „Crown-down-Technik*“ versus „*Step-back-Technik*“) gebildet (Abb. 37, 38). Die Ergebnisse von Debris, Oberflächenbeschaffenheit, Schmierschicht und *Foramen apicale* aller Gruppen sind in den Anhangstabellen 10 bis 13 dargestellt und die statistische Bewertung der Ergebnisse in Tabelle 20.

Nach *Modifizierter „Balanced-force-Technik*“ und „*Step-back-Technik*“ war im mittleren Drittel der Innenkurvatur weniger Debris als nach der Anwendung der *Modifizierten „Crown-down-Technik*“ ( $p = 0,033$ , Tab. 20) vorhanden. Beide Aufbereitungsmethoden erzeugten auf der gesamten Außenkurvatur (Koronal  $p = 0,002$ , Mitte und Apikal  $p = 0,000$ , Tab. 20) sowie im apikalen Bereich (Gruppe 3,  $p = 0,024$ , Tab. 20) der Innenkurvatur geringe Mengen an Schmierschicht. Im Bereich des *Foramen apicale* erwies sich die „*Step-back-Technik*“ (Gruppe 3,  $p = 0,009$ , Tab. 20) als die beste Vorgehensweise. Der apikale

Wurzelkanalabschnitt der Außenkurvatur zeigte nur nach Anwendung der *Modifizierten „Crown-down-Technik“* keine Aufbereitungsspuren ( $p = 0,041$ , Tab. 20).

**A****B****C****D**

**Abbildung 37:** Debris Grad 0 nach „*Step-back-Technik*“ (A), Schmierschicht Grad 0 nach „*Step-back-Technik*“ (B), Schmierschicht Grad 1 nach *Modifizierter „Balanced-force-Technik“* (C), Schmierschicht Grad 3 nach *Modifizierter „Crown-down-Technik“* (D)



**Abbildung 38:** Kombination III (Modifizierte „Balanced-force-Technik“ - Modifizierte „Crown-down-Technik“ - „Step-back-Technik“), **Gruppe 1:** Modifizierte „Balanced-force-Technik“ + K-Flexoreamer und K-Flexofile, **Gruppe 2:** Modifizierte „Crown-down-Technik“ + FlexMaster und Edelstahl-ENDOflash und Nickel-Titan-ENDOflash und K3, **Gruppe 3:** „Step-back-Technik“, Edelstahl-ENDOflash und Nickel-Titan-ENDOflash (ES = Edelstahl, BFT = Modifizierte „Balanced-force-Technik“, NiTi = Nickel-Titan, CDT = Modifizierte „Crown-down-Technik“, SBT = „Step-back-Technik“)

Tabelle 20: Statistische Auswertung (Kruskal-Wallis-Test, p-Werte, Signifikanzgrenze  $p < 0,05$ ) der Kriterien Debris, Oberflächenbeschaffenheit, Schmierschicht und *Foramen apicale* nach Wurzelkanalaufbereitung für die Kombination III\* (Modifizierte „Balanced-force-Technik“ - Modifizierte „Crown-down-Technik“ - „Step-back-Technik“)

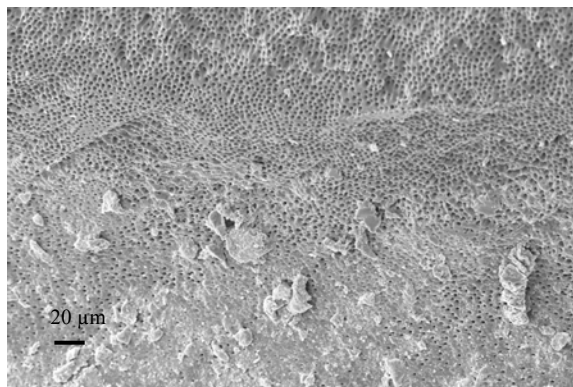
<i>Debris</i>						
<b>Innenkurvatur</b>			<b>Außenkurvatur</b>			
<b>k</b>	<b>m</b>	<b>a</b>	<b>k</b>	<b>m</b>	<b>a</b>	
0,057	<b>0,033</b>	0,084	<b>0,001</b>	0,206	0,339	
<i>Oberflächenbeschaffenheit</i>						
<b>Innenkurvatur</b>			<b>Außenkurvatur</b>			
<b>k</b>	<b>m</b>	<b>a</b>	<b>k</b>	<b>m</b>	<b>a</b>	
1,000	0,183	0,444	0,202	0,302	<b>0,041</b>	
<i>Schmierschicht</i>						
<b>Innenkurvatur</b>			<b>Außenkurvatur</b>			
<b>k</b>	<b>m</b>	<b>a</b>	<b>k</b>	<b>m</b>	<b>a</b>	
<b>0,050</b>	0,431	<b>0,024</b>	<b>0,002</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	
<i>Foramen apicale</i>						
<b>0.009</b>						

\* **Gruppe 1:** Modifizierte „Balanced-force-Technik“ + K-Flexoreamer und K-Flexofile, **Gruppe 2:** Modifizierte „Crown-down-Technik“ + FlexMaster und Edelstahl-ENDOfash und Nickel-Titan-ENDOfash und K3, **Gruppe 3:** „Step-back-Technik“, Edelstahl-ENDOfash und Nickel-Titan-ENDOfash, **k** = Koronal, **m** = Mitte, **a** = Apikal

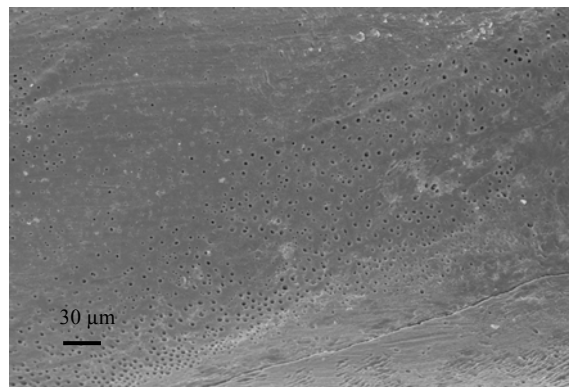
## 5.5 Zur Bewertung des Einflusses der Instrumentenkonizität und Aufbereitungstechniken

Zur Bewertung des Einflusses der Instrumentenkonizität und Aufbereitungstechniken wurden vier Gruppen (Gruppe 1: Modifizierte „Balanced-force-Technik“, K-Flexoreamer und Flexofile, Taper = .02/Manuell, Gruppe 2: Modifizierte „Crown-down-Technik“, FlexMaster und K3, Taper > .02/Maschinell, Gruppe 3: „Step-back-Technik“, Edelstahl-ENDOfash, und Nickel-Titan-ENDOfash, Taper = .02/Maschinell, Gruppe 4: Modifizierte „Crown-down-Technik“, Edelstahl-ENDOfash und Nickel-Titan-ENDOfash, Taper = .02/Maschinell) gebildet (Abb. 39, 40). Die Ergebnisse von Debris, Oberflächenbeschaffenheit, Schmierschicht und *Foramen apicale* aller Gruppen sind in den Anhangstabellen 14 bis 17 dargestellt und die statistische Bewertung der Ergebnisse in Tabelle 21. Die Gruppen 1 und 3 hinterließen im mittleren Drittel der Innenkurvatur nur wenig Debris ( $p = 0,015$ , Tab. 21). In der Qualität der Oberflächenbeschaffenheit in beiden apikalen Kanalabschnitten war die Gruppe 2 überlegen ( $p = 0,000$ , Tab. 21). Im apikalen und mittleren Drittel der Außenkurvatur

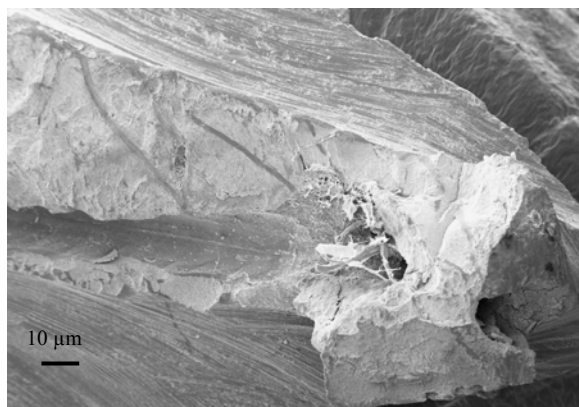
( $p = 0,000$ ,  $p = 0,001$ , Tab. 21) lagen die niedrigsten Befunde zur Schmierschicht in der Gruppe 1 vor, während dessen die Befunde der Gruppe 3 im apikalen Drittel der Innenkurvatur und im Bereich des *Foramen apicale* besser ausfielen ( $p = 0,009$ ,  $p = 0,027$ , Tab. 21).



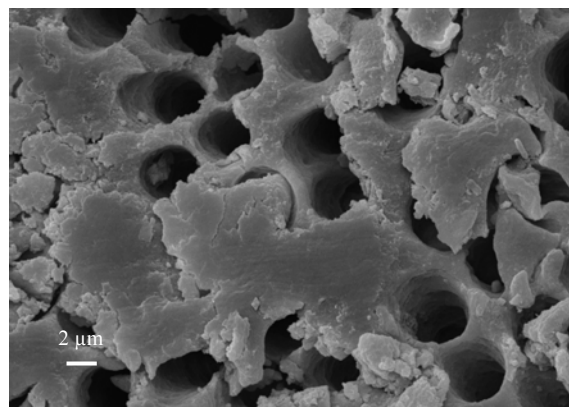
A



B

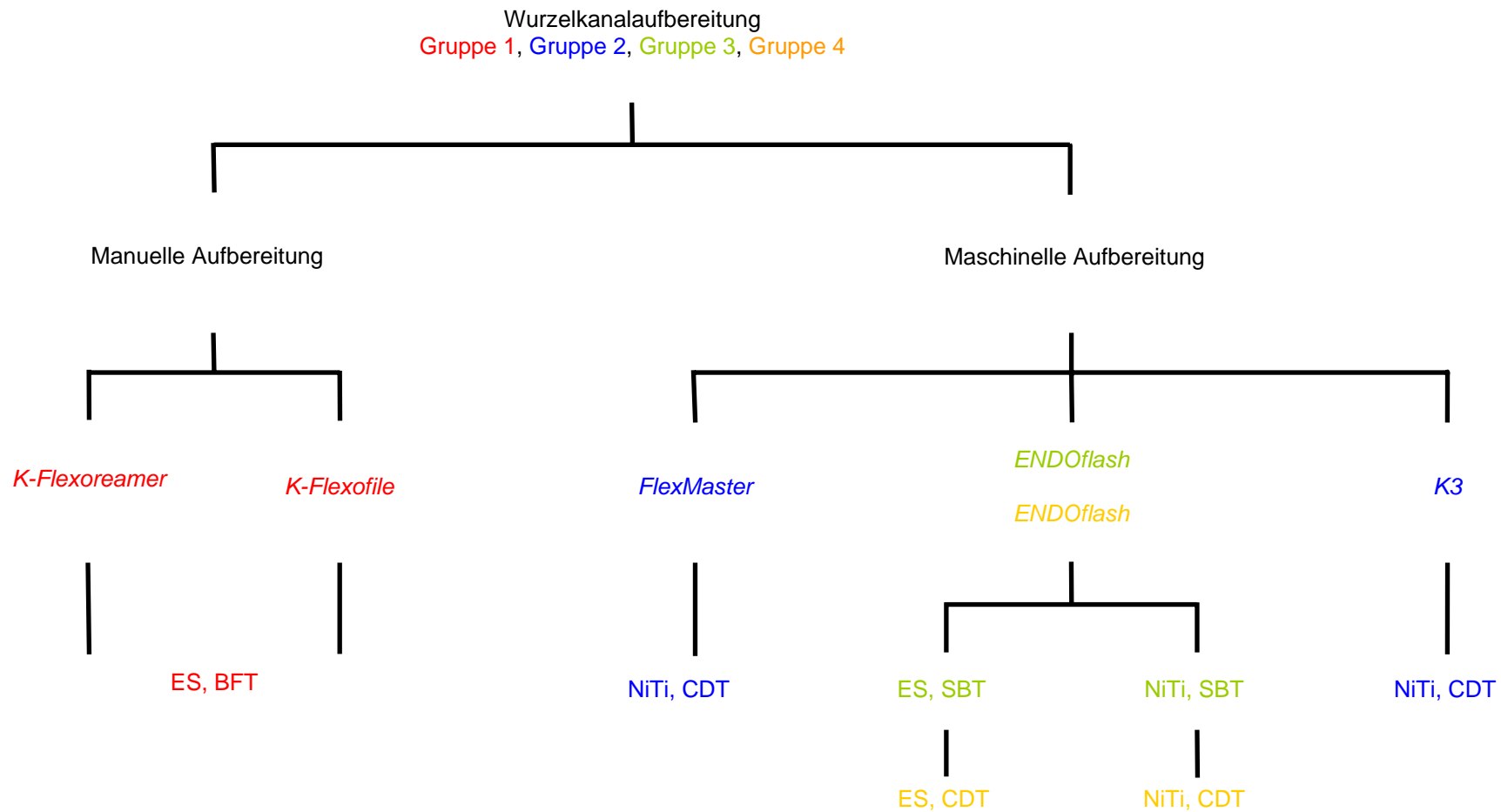


C



D

**Abbildung 39:** Debris Grad 1 **Gruppe 1:** Modifizierte „*Balanced-force-Technik*“, *K-Flexoreamer*, Taper = .02/Manuell (A), Schmierschicht Grad 0 **Gruppe 3:** „*Step-back-Technik*“, Nickel-Titan-*ENDOfash*, Taper = .02/Maschinell (B), *Foramen apicale* **Gruppe 2:** Modifizierte „*Crown-down-Technik*“, *FlexMaster*, Taper > .02/Maschinell (C), Schmierschicht **Gruppe 2:** Modifizierte „*Crown-down-Technik*“, *K3*, Taper > .02/Maschinell (D)



**Abbildung 40:** Kombination IV (Taper .02 – Taper .02 - .06), **Gruppe 1:** Modifizierte „Balanced-force-Technik“, K-Flexoreamer und Flexofile, Taper = .02/Manuell, **Gruppe 2:** Modifizierte „Crown-down-Technik“, FlexMaster und K3, Taper > .02/Maschinell, **Gruppe 3:** „Step-back-Technik“, Edelstahl-ENDOflash, und Nickel-Titan-ENDOflash, Taper = .02/Maschinell, **Gruppe 4:** Modifizierte „Crown-down-Technik“, Edelstahl-ENDOflash und Nickel-Titan-ENDOflash, Taper = .02/Maschinell, (ES = Edelstahl, BFT = Modifizierte „Balanced-force-Technik“, NiTi = Nickel-Titan, CDT = Modifizierte „Crown-down-Technik“, SBT = „Step-back-Technik“)



Tabelle 21: Statistische Auswertung (Kruskal-Wallis-Test, p-Werte, Signifikanzgrenze  $p < 0,05$ ) der Kriterien Debris, Oberflächenbeschaffenheit, Schmierschicht und *Foramen apicale* nach Wurzelkanalaufbereitung für die Kombination IV\* (Taper .02 – Taper .02 - .06)

<i>Debris</i>						
<b>Innenkurvatur</b>			<b>Außenkurvatur</b>			
<b>k</b>	<b>m</b>	<b>a</b>	<b>k</b>	<b>m</b>	<b>a</b>	
0,104	<b>0,015</b>	0,127	<b>0,002</b>	0,193	0,513	
<i>Oberflächenbeschaffenheit</i>						
<b>Innenkurvatur</b>			<b>Außenkurvatur</b>			
<b>k</b>	<b>m</b>	<b>a</b>	<b>k</b>	<b>m</b>	<b>a</b>	
0,357	0,207	<b>0,000</b>	0,357	0,457	<b>0,000</b>	
<i>Schmierschicht</i>						
<b>Innenkurvatur</b>			<b>Außenkurvatur</b>			
<b>k</b>	<b>m</b>	<b>a</b>	<b>k</b>	<b>m</b>	<b>a</b>	
0,064	0,064	<b>0,009</b>	<b>0,001</b>	<b>0,001</b>	<b>0,000</b>	
<i>Foramen apicale</i>						
<b>0,027</b>						

**Gruppe 1:** Modifizierte „Balanced-force-Technik“, K-Flexoreamer und K-Flexofile, Taper = .02/Manuell, **Gruppe 2:** Modifizierte „Crown-down-Technik“, FlexMaster und K3, Taper > .02/Maschinell, **Gruppe 3:** „Step-back-Technik“, Edelstahl-ENDOfash, und Nickel-Titan-ENDOfash, Taper = .02/Maschinell, **Gruppe 4:** Modifizierte „Crown-down-Technik“, Edelstahl-ENDOfash und Nickel-Titan-ENDOfash, Taper = .02/Maschinell, **k** = Koronal, **m** = Mitte, **a** = Apikal

## 5.6 Synopsis der Ergebnisse

Synoptisch betrachtet führten in der vorliegenden Untersuchung zunächst alle Wurzelkanalaufbereitungen zu einem akzeptablen Ergebnis hinsichtlich der Reinigungswirkung und Oberflächenbeschaffenheit der Kanalwände. Den besten Erfolg erzielte die maschinelle Wurzelkanalaufbereitung unter Verwendung von Edelstahlinstrumenten (Edelstahl-ENDOfash, Taper 2 %) in „Step-back-Technik“. Gleich gute Ergebnisse wurden mit der manuellen Wurzelkanalaufbereitung unter Verwendung von Flexofile in Modifizierter „Balanced-force-Technik“ erreicht.

Beim Vergleich der manuellen *versus* maschinellen Wurzelkanalaufbereitung erwiesen sich die maschinellen Techniken in der Entfernung der Debris im apikalen Drittel der Innenkurvtur als effektiver. Im Bereich des *Foramen apicale* kam es zu keiner Verblockung. Der apikale Kanalabschnitt der Außenkurvatur wies wenige Aufbereitungsspuren auf. Die manuelle

Wurzelkanalaufbereitung erzeugte indes im Bereich der apikalen und mittleren Drittel der Außenkrvatur weniger Schmierschicht.

Nach dem Einsatz von Edelstahlfeilen entstand im Vergleich zum Einsatz von NiTi-Instrumenten weniger Schmierschicht. Bei Verwendung von NiTi-Instrumenten war hingegen im apikalen Drittel der Innenkrvatur weniger Debris nachweisbar.

Unter den Aufbereitungstechniken hoben sich die *Modifizierte „Balanced-force-Technik“* und die *„Step-back-Technik“* hervor. Im mittleren Drittel der Innenkrvatur verblieb weniger Debris. Sie erzeugte auf der gesamten Aussenkrvatur weniger Schmierschicht als nach Anwendung der *Modifizierten „Crown-down-Technik“*. Hinsichtlich des *Foramen apikale* zeigte die *„Step-back-Technik“* die besten Resultate.

Letztlich führte eine Instrumentenkonizität von .02 (Taper 2 %) zur geringsten Schmierschicht.

## 6 Diskussion

### 6.1 Zur Bewertung des Studiendesigns

Die vorliegende In-vitro-Studie sollte bei standardisierter Wurzelkanalspülung der Effizienz der maschinellen Aufbereitungssysteme *FlexMaster*, *KaVo ENDOfash* und *K3* im Vergleich zur manuellen Wurzelkanalaufbereitung in gekrümmten Wurzelkanälen nachgehen.

Während zur Problematik der formgerechten Aufbereitung – insbesondere von gekrümmten Wurzelkanälen – zahlreiche Studien vorliegen, finden sich zur intrakanalären Reinigungswirkung verschiedener Wurzelkanalaufbereitungssysteme vergleichsweise wenige Untersuchungen. Das unterschiedliche Studiendesign Letzterer, Unterschiede in der Handhabung und Routine des Behandlers, die Art des verwendeten Motors, die abschließende Größe der Präparation und uneinheitliche Auswertungskriterien erschweren den Vergleich.

Das Studiendesign zur Aufbereitungsqualität von Wurzelkanalwänden von Kiene et al. (2004) entsprach weitgehend dem der vorliegenden Studie. In Übereinstimmung zu den eigenen Ergebnisanalysen verwiesen oben genannte Autoren auf die Schwierigkeiten beim Vergleich von Studienergebnissen an Wurzelkanälen bei Verwendung von extrahierten Zähnen gegenüber simulierten Wurzelkanälen in Form von Kunststoffmodellen. Letztere sind zweifelsohne ideal zur Untersuchung mechanischer und physikalischer Eigenschaften von Instrumenten, da sie eine standardisierte Aufbereitung ermöglichen. Zur Bewertung der Parameter Debris, Schmierschicht, Oberflächenbeschaffenheit und *Foramen apicale* wurden für die Untersuchungen natürliche Wurzelkanäle verwendet.

Die Bewertung der Reinigungswirkung der verwendeten Aufbereitungssysteme erfolgte rasterelektronenmikroskopisch, einem Vorgehen, das heute als Standardverfahren zur Beurteilung der Reinigungswirkung in Wurzelkanälen gilt (Bolanos und Jensen 1980, Haikel und Allemann 1988, Beer und Gängler 1989, Hülsmann und Bertzbach 1989, Hülsmann et al. 1997). Die Beurteilung der Wurzelkanalwände erfolgte dabei nach den Kriterien und dem Scoring-System von Hülsmann et al. (1997) mit den Parametern Debris, Oberflächenbeschaffenheit, Schmierschicht und *Foramen apicale* (Tab. 11, 12). Dieses Vorgehen diente der Standardisierung und erhöhte die Vergleichbarkeit mit anderen Studien.

Andere Möglichkeiten zur Bewertung der Wurzelkanalreinigung sind die beschreibende Methode, die Konopelski (1980) und Lieder (2001) einsetzten, sowie die Einteilung der Wurzelkanalwand in Felder mit anschließender Bewertung jedes einzelnen Feldes.

In Übereinstimmung mit Hülsmann (2002) kann der praktisch tätige Zahnarzt die Kanalwand hinsichtlich der präparationsbedingten Schmierschicht, Ansammlungen von Debris oder

Resten des Pulpagewebes in Abhängigkeit von der eingesetzten Wurzelkanalbearbeitung während bzw. nach der Behandlung nicht bewerten bzw. einschätzen; er bleibt bei der Wahl der Verfahren auf Schulmeinungen im Konsens zu eigenen Erfahrungen und hinsichtlich zeitgemäßer Fortschritte in der Behandlung auf Empfehlungen aus dem Schrifttum bzw. den Leitlinien wissenschaftlicher Gesellschaften angewiesen. Letztlich basieren Empfehlungen zur Reinigung des Wurzelkanals nach wie vor auf Untersuchungen von Extraktionspräparaten nach Wurzelkanalaufbereitung oder Ergebnissen von In-vitro-Untersuchungen, die die Ergebnisse von Kombinationen instrumenteller Bearbeitung und chemisch-physikalischer Wirkung der Spüllösung im rasterelektronenmikroskopischen Bild objektivierten.

Vorliegend wurden 40 Wurzelkanäle nach 8 verschiedenen Aufbereitungsmethoden mit jeweils 5 Wurzelkanälen pro Gruppe (Abb. 13, 32) bei standardisierter Wurzelkanalirrigation (Kap. 4.1, Spülungsprotokoll) bearbeitet. Somit standen je 10 Wurzelkanalhälften mit ihren drei Kanalabschnitten zur Auswertung zur Verfügung.

Die standardisierte Wurzelkanalirrigation war im Rahmen des gewählten Studiendesigns zunächst eine weitere wichtige Voraussetzung dafür, die Effizienz der 8 verschiedenen Aufbereitungsmethoden beurteilen zu können (Abb. 32). Die nachfolgende statistische Bearbeitung der Ergebnisse unter den Aspekten der manuellen *versus* maschinellen (Abb. 34) Wurzelkanalaufbereitung, der Verwendung von Edelstahl- *versus* NiTi-Instrumenten (Abb. 36), des Einflusses der Aufbereitungstechnik (Abb. 38) und der Instrumentenkonizität (Abb. 40) basierte auf den Ergebnissen von 10 bis 30 Wurzelkanälen pro Gruppe. Damit war es möglich, statistisch gesicherte Aussagen zum Einfluss der Aufbereitungstechniken auf die Reinigungswirkung im Wurzelkanal zu treffen, die Möglichkeiten und Grenzen von Edelstahl- und NiTi-Instrumenten aufzuzeigen und eine Bewertung des Einflusses der Instrumentenkonizität und Aufbereitungstechniken vornehmen zu können. Eine synoptische Bewertung der Ergebnisse konnte somit in die Schlussfolgerungen einfließen.

In der vorliegenden Studie bestand die standardisierte Wurzelkanalirrigation in der Regel in einer Zwischenspülung nach jedem Instrumentenwechsel mit 2 ml einer 5,25%igen Natriumhypochloritlösung über einen Zeitraum von ca. 60 Sekunden. Die Schlusspülung wurde mit 2 ml einer 20%igen EDTA-Lösung bei einer Einwirkzeit von ca. 2 min vorgenommen. Die Wurzelspitzen wurden zuvor mit einer dünnen Wachsschicht verschlossen, um den in vivo apikal bestehenden Gegendruck zu simulieren bzw. ein Überpressen von Spülflüssigkeit zu verhindern.

Natriumhypochlorit wird seit etwa 70 Jahren in der Endodontie als Wurzelkanalspülmittel eingesetzt. Über die Wirksamkeit von NaOCl besteht in der Literatur weitgehend Einigkeit; umstritten ist nach Guldener (1978) die zu verwendende Konzentration. Trepagnier et al. (1977) untersuchten NaOCl-Lösungen verschiedener Konzentrationen hinsichtlich ihrer Gewebe auflösenden Wirkung und fanden keine Unterschiede zwischen 2,5%- und 5%iger NaOCl-Lösung; beide Konzentrationen erwiesen sich aber signifikant stärker Gewebe auflösend als eine 0,5%ige NaOCl-Lösung. Nach Hand et al. (1978) ist dagegen 5,25%iges NaOCl hinsichtlich der Auflösung nekrotischen Gewebes signifikant effektiver als 2,5%ige oder 0,5%ige Konzentrationen. Dammaschke (1999) empfiehlt für den Einsatz von NaOCl in der Zahnheilkunde eine Konzentration bis maximal 5 %.

NaOCl besitzt eine hohe Effektivität gegen ein breites Spektrum von vegetativen Bakterienformen, Bakteriensporen, Pilzen, Pilzsporen sowie gegen behüllte und unbehüllte Viren. Hinsichtlich der Bakterizität - speziell in Wurzelkanälen – favorisierten Yesilsoy et al. (1995) 5,25%ige NaOCl-Lösung vor anderen Spüllösungen.

In einer umfassenden und sehr sorgfältig angelegten Studie von Sirtes et al. (2005) löste 1%iges NaOCl bei 45°C Pulpagewebe ebenso effektiv auf wie eine 5,25%ige Lösung bei 20°C; die 1%ige Lösung erwies sich bei Erwärmen auf 60°C als signifikant effektiver. Die Erwärmung niedrig konzentrierter NaOCl-Lösungen wird aufgrund der besseren Biokompatibilität als Erfolg versprechende Modifikation der Spülung angesehen. Die Gewebeauflösung wird durch die erwärmte Lösung beschleunigt, wobei die antibakterielle Wirkung sich nicht erhöht. Einmal erwärmtes und nicht verbrauchtes Hypochlorit ist nach Hülsmann (2006) zu verwerfen.

Der Frage, ob eine verminderte Oberflächenspannung die Benetzbarkeit der Dentinoberfläche und das Fließverhalten in engen Wurzelkanälen verbessern könnte, gingen Zehnder et al. (2005) nach. Die Autoren prüften, ob eine reduzierte Oberflächenspannung flüssige Chelatoren in ihrer Kalzium bindenden Fähigkeit beeinflusst. Die Autoren kamen zu dem Ergebnis, dass die Auflösung anorganischer Bestandteile der Schmierschicht durch flüssige Chelatoren mit verminderter Oberflächenspannung nicht verbessert wird.

Bislang noch unbeantwortet bleibt nach Hülsmann (2006) die Frage, ob das Abrunden der Nadelspitze bei Verwendung konventioneller Injektionskanülen oder die Verwendung von Spülnadeln mit seitlicher Austrittsöffnung bei geschlossener Spitze tatsächlich im Spülprotokoll von klinischer Bedeutung ist. Vorliegend wurden ausschließlich Spülkanülen mit seitlicher Austrittsöffnung erfolgreich eingesetzt. Spülkanülen mit seitlichen Austrittsöffnungen wurden erstmals von Goldman et al. (1976) beschrieben. Hülsmann (2006)

beurteilte apikal offene, abgerundete Nadelspitzen als effektiver als solche mit seitlicher Austrittsöffnung; letztere benötigen mehr Kraftaufwand bei der Spülung. weiterhin unterstrich Hülsmann (2006), dass es einfacher ist, Debris aus dem am weitesten apikal gelegenen Punkt des simulierten Wurzelkanals zu entfernen.

## **6.2            Zur Bewertung der Parameter Debris, Schmierschicht, Oberflächenbeschaffenheit und *Foramen apicale***

Unabhängig von den 8 Wurzelkanalaufbereitungsverfahren kam Debris in den Graden 0 bis 2 vor. Auf den Oberflächen der inneren und äußeren Wurzelkanaldrittel lag von koronal nach apikal in der Regel kaum bzw. nur ein leichter Anstieg vor. Bei Betrachtung der verschiedenen Verfahren lagen nur bei *Modifizierter „Balanced-force-Technik“* und Verwendung von *K-Flexoreamer* (Gruppe 1) und *K-Flexofile* (Gruppe 2) und *Modifizierter „Crown-down-Technik“* und Edelstahl-*ENDOflash* (Gruppe 5) mittlere Werte für Debris von > 1 apikal an den Innenflächen vor (Tab. 13).

Die Oberflächenbeschaffenheit lag in den Graduierungen 1 und 2 vor. Sie verschlechterte sich von koronal nach apikal an der äußeren Wurzelkanalhälfte – mit Ausnahme der Gruppe 8 (*Modifizierte „Crown-down-Technik“, K3*) – in allen Gruppen. Insgesamt lag mehrheitlich eine gut geglättete Oberfläche vor (Tab. 14).

Die Schmierschicht war in den Graduierungen von 0 bis 3 vorhanden. Von koronal nach apikal nahm sie generell zu und erreichte im Mittel den Grad 2; die Werte der Gruppe 3 (*Modifizierte „Crown-down-Technik“, FlexMaster*) lagen am höchsten (Tab. 15).

Nahe des *Foramen apicale* kamen nach manueller Wurzelkanalaufbereitung alle drei Graduierungen vor, nach maschineller Aufbereitung wurden lediglich die Graduierungen 0 und 1 (Gruppe 3 bis 7) bzw. nur die Graduierung 1 (Gruppe 8) registriert. Die Gruppen 1 und 2 schlossen am schlechtesten ab (Tab. 16).

Kiene et al. (2004) konnten mit keinem Aufbereitungssystem allein eine vollständige Reinigung des Wurzelkanals erreichen. Die Entfernung von Debris und Schmierschicht erfolgte im koronalen und mittleren Drittel besser als apikal und steht damit im Gegensatz zu den vorliegenden Befunden, nach denen von koronal nach apikal in der Regel kaum bzw. nur ein leichter Anstieg von Debris vorlag. Die Wurzelkanäle, die von Kiene et al. (2004) mit dem ProFile-, dem GT-Rotary-System oder manuell bearbeitet wurden, zeigten für den Parameter Debris vorwiegend Score 1 und 2 für alle drei Wurzelkanalbereiche. Im koronalen Bereich erzielte das ProFile-System bei allen Kanälen Score 1. Die Nickel-Titan-Systeme

ProTaper und *FlexMaster* bewirkten im koronalen Abschnitt auch Score 3 und ProTaper-Instrumente sogar Score 4. Die statistische Auswertung ergab für den apikalen Wurzelkanalbereich eine signifikant unterschiedlich ausgeprägte Ansammlung von Debris. Für die Schmierschicht ergab sich nach Aufbereitung mittels aller verwendeten Nickel-Titan-Systeme und nach manueller Bearbeitung überwiegend Score 3 im koronalen, mittleren und apikalen Bereich. Das GT-Rotary-System zeigte auch Kanalwandbereiche, die mit Score 2 oder 4 bewertet wurden. Statistisch resultierte auch hier nur für den apikalen Wurzelkanalbereich eine signifikant unterschiedlich ausgeprägte Schmierschicht.

Nach Schäfer (2000) ist die Frage nach der klinischen Relevanz von Bearbeitungsspuren nicht eindeutig zu beantworten, da der Einfluss von Artefakten auf die Wurzelkanalfüllung und schließlich auf die Prognose der Wurzelkanalbehandlung noch nicht untersucht wurde.

Nach Instrumentierung mit ProFile-Instrumenten aus Nickel-Titan konnte Schäfer (2000) nahezu keine Bearbeitungsspuren an der Kanalwand dokumentieren, während dies sowohl bei manueller als auch bei maschineller Anwendung der *K-Flexofiles* bei etwa  $\frac{2}{3}$  der aufbereiteten Kanäle der Fall war. Es resultierte ein für K-Feilen charakteristisches, wellenförmiges Bearbeitungsmuster. Dies wurde auch in der vorliegenden Studie bestätigt. Die Bearbeitungsspuren (Tab. 14) waren überwiegend nur gering ausgeprägt und die somit erzielte Glättung der Kanalwände eine gute Voraussetzung für eine anschließende dichte Wurzelkanalfüllung.

Nach Schwarze (1998) sollen die Wände eines fertig präparierten Wurzelkanals im Idealfall vollständig bearbeitet und jeglicher Debris aus dem Kanal entfernt sein. Die Oberfläche der Kanalwand sollte glatt und die während der Präparation entstandene Schmierschicht möglichst dünn sein. Bei der Aufbereitung und Reinigung der Wurzelkanäle bildet sich eine Schmierschicht aus organischen und anorganischen Bestandteilen. Über die Frage, ob diese Schmierschicht entfernt werden soll, besteht keine Einigkeit. Einerseits können in der Schmierschicht vorhandene Bakterien eine Entzündung aufrechterhalten, andererseits könnte die Schmierschicht die Dentintubuli auch vor einer weiteren Penetration durch Mikroorganismen schützen. Konsens scheint jedoch darin zu bestehen, dass eine Entfernung die Anzahl der Bakterien und Toxine reduziert und die Wandbeständigkeit von Sealern erhöht (Zachareo et al. 2003). Aus physikalischer Sicht sprechen mikromorphologische Ergebnisse aus REM-Untersuchungen von Koçkapan (1995) eindeutig für eine gründliche Entfernung der Schmierschicht, da sich nach ihrer Entfernung ein günstigeres Haftrelief ergibt, das zu dichter Verzahnung zwischen Dentinsubstanz und Füllungsmaterial im Vergleich zu einer losen Quetschung oder bloßen Adhäsion führt.

Unter Praxisbedingungen konnte aber selbst bei Anwendung von NaOCl-Lösung die Kanalwand nicht völlig gereinigt werden. Alternierend dazu angewendete Chelatoren, wie EDTA, entfernten die mineralisierten Anteile der Schmierschicht, die nur in Bereichen entsteht, die mechanisch mit Aufbereitungsinstrumenten, ob per Hand, maschinell oder Schall/Ultraschall, bearbeitet wird. Wenn nur wenig Schmierschicht gefunden wird, ist das Instrument entweder nicht über eine große Oberfläche wirksam gewesen oder war in der Lage, die Schmierschicht zu entfernen.

In engen gebogenen Wurzelkanälen gibt es auch bei EDTA-Anwendung – egal, ob mit Spritze oder auch Ultraschall aktiviert eingebracht – Schwierigkeiten, die Schmierschicht zu entfernen. Es fällt auf, dass Untersuchungen über die Wirksamkeit von Spüllösungen im allgemeinen schwer zu vergleichen sind, weil mit unterschiedlichen Parametern z. B. der Aufbereitungsgröße, Menge der Spülflüssigkeit, Konzentration der Spüllösung bzw. Art der Spülmittel gearbeitet wurde. Wenn die Kanalwände darüber hinaus mit hohen Vergrößerungen betrachtet werden, wird die Ausschnittsvergrößerung eines Areals ein falsches Bild geben, da die Schmierschicht in der Regel nicht gleichmäßig verteilt ist. Im Vergleich zur vorliegenden Studie, in der alle drei Kanalwandabschnitte bei Verwendung eines standardisierten REM-Protokolls betrachtet wurden, untersuchten andere Autoren nur die mittleren Kanalabschnitte und vernachlässigten in Übereinstimmung zu Kockapan (1995) die apikalen Bereiche. So wurde vorliegend neben der Übersicht für die einzelnen Kanalabschnitte (Koronal, Mitte, Apikal) eine 10- bis 25fache Vergrößerung sowie eine 250- bis 1000fache Vergrößerung zur Bewertung der Parameter gewählt (Abb. 29, 30, 31, 33, 35, 37, 39).

Wie schon angeführt löst EDTA (17%ig) die mineralisierten Anteile der Schmierschicht auf und öffnet bzw. erweitert die Eingänge der Dentintubuli. In Verbindung mit NaOCl werden somit Voraussetzungen für eine gute Adaption des Sealers geschaffen. Wenn das EDTA allerdings nicht verdünnt und gründlich herausgespült wird besteht die Gefahr der fortschreitenden Demineralisation entlang der Tubuli.

EDTA behält bei Mischung mit NaOCl die Fähigkeit, Kalziumionen zu binden, inhibiert jedoch die Gewebe auflösende Wirkung des NaOCl beinahe vollständig, da kaum freies Chlor in der Lösung verfügbar ist. Grawehr et al. (2003) kamen daher zu dem Schluss, dass EDTA und NaOCl separat eingesetzt werden sollten und nach einer EDTA-Spülung mit großen NaOCl-Mengen nachgespült werden muss, um das restliche EDTA zu entfernen und eine gute Wirksamkeit des NaOCl zu gewährleisten.



Bei der Anwendung von NiTi-Instrumenten ist nach Peters et al. (2005) eine Lubrikation von Vorteil. Der pastenförmige Chelator Glyde setzt sich in den U-förmigen Kehlen der ProFile- und K3-Instrumente fest und wird dabei mit Dentinspänen vermengt. Flüssige Gleitmittel wie Wasser oder EDTA-Lösung spülen im Gegensatz dazu die Dentinspäne fort. Peters et al. (2005) schätzen den Einsatz von Natriumhypochlorit- oder Chlorhexidinlösung bei der Präparation mit ProFile-Instrumenten als vorteilhafter ein und empfehlen pastenförmige Gleitmittel eher bei Einsatz aktiv schneidender Instrumente (ProTaper, *FlexMaster*).

In der vorliegenden Studie erfolgte, wie schon angeführt, standardisiert eine Zwischenspülung nach jedem Instrumentenwechsel mit 2 ml einer 5,25%igen Natriumhypochloritlösung über einen Zeitraum von ca. 60 Sekunden. EDTA wurde als Gleitgel eingesetzt und die Schlusspülung erfolgte mit 2 ml einer 20%igen EDTA-Lösung bei einer Einwirkzeit von ca. 2 Minuten. Inwieweit es zu Wechselwirkungen zwischen EDTA und der Natriumhypochloritlösung kam, kann nicht beantwortet werden.

Crumpton et al. (2005) widmeten sich in ihrer REM-Studie der Quantifizierung des Volumens von 17%iger EDTA-Lösung, die zur effizienten Entfernung der Schmierschicht nach maschineller Präparation erforderlich ist. Weiterhin gingen die Autoren der Frage nach, ob eine zusätzliche Spülung einen Effekt auf die Entfernung von Debris hat. Mit 1 ml EDTA-Lösung und einer einminütigen Einwirkzeit sowie anschließender Spülung mit 3 ml einer 5,25%igen NaOCl-Lösung konnten Debris und Schmierschicht effizient entfernt werden. In der vorliegenden Studie wurden nahezu gleich gute Ergebnisse erreicht.

Girard et al. (2005) prüften die Eigenschaften eines HEBP-Gels als Chelator bei der maschinellen Wurzelkanalpräparation. Die chemischen Interaktionen mit NaOCl, die kalziumbindende Fähigkeit und die Entfernung der Schmierschicht wurden berücksichtigt. Das HEBP-Gel erwies sich herkömmlichen Präparaten überlegen. Es traten keine Interaktionen mit NaOCl auf, die kalziumbindende Kapazität war höher und die präparationsbedingte Schmierschicht in den koronalen und mittleren Wurzelkanalbereichen wurde reduziert.

NaOCl besitzt einen stark basischen pH-Wert (pH 12/13), löst vorwiegend organische Substanzen auf und wirkt bakterizid. EDTA ist ebenfalls basisch, reagiert demgegenüber vorwiegend mit Hartgeweben als Chelator und demineralisiert das Dentin durch Komplexbildung mit Kalzium.

So bestätigten Saleh und Ettman (1999) nach Einwirkung von 3%igem  $H_2O_2$ , 5%igem NaOCl und 17%igem EDTA eine Abnahme der Dentinhärte. Die Autoren registrierten auch, dass das Belassen von EDTA im Wurzelkanalsystem zur Auskristallisation und lokalen Erweichung

von Dentinschichten führen kann und empfehlen, zur abschließenden Wurzelkanalspülung eine inerte Spüllösung (Chlorhexidindigluconat 0,1%ig, Aqua destillata oder sterile Kochsalzlösung) zu verwenden und den Kanal mit sterilen Papierspitzen gründlich zu trocknen. In Übereinstimmung dazu wurde in der vorliegenden In-vitro-Studie die Wurzelkanalaufbereitung mit inerter Spülung mit Aqua ad injectabilia und Trocknung mit Papierspitzen beendet.

### **6.3 Zur Bewertung der Rangfolge der Wurzelkanalaufbereitungsverfahren**

Bei der in der vorliegenden Untersuchung insgesamt erreichten guten Wurzelkanalreinigung stellte sich bei vergleichender Bewertung der 8 Verfahren eine Rangfolge heraus; 7 Ränge bestanden (Tab. 17).

Die dicht beieinander liegenden Mediane bestätigten zunächst die insgesamt gute Wurzelkanalaufbereitung. Die ersten drei Ränge (I – III) wurden von Verfahren der Gruppen 1, 2 und 4 belegt. Hier wurde die Wurzelkanalaufbereitung von apikal nach koronal mit Edelstahlinstrumenten durchgeführt. Rang I repräsentierte die Gruppe 4 mit maschineller Wurzelkanalaufbereitung („*Step-back-Technik*“, Edelstahl-*ENDOflash*). Rang IV wurde von Gruppe 6 mit maschineller „*Step-back-Technik*“ und NiTi-Instrumenten eingenommen, Rang V von Gruppe 5 mit maschineller „*Crown-down-Technik*“ und Edelstahlinstrumenten. Die Ränge VI (Gruppe 3) und VII (Gruppen 7 und 8) waren durch die maschinelle Anwendung von NiTi-Feilen in *Modifizierter „Crown-down-Technik*“ charakterisiert.

In der Rangbildung fallen dem Kliniker zunächst die Edelstahlinstrumente *K-Flexoreamer* und *K-Flexofile* auf, die den zweiten und dritten Rang belegten. Sie sind in den ISO-Größen 015 bis 040, in den Zwischengrößen ISO 012-037 als *K-Flexoreamer Golden Mediums* und *K-Flexofiles Golden Mediums* und als *K-Flexoreamer/K-Flexofile Senseus* (ISO 008 bis 080) mit ergonomisch geformten Silikongriff erhältlich.

Nach Schäfer (1995a, 1997) gewährleisteten flexible Edelstahlinstrumente mit einer nicht schneidenden Instrumentenspitze bei der Aufbereitung gekrümmter Wurzelkanäle eine im Vergleich zur herkömmlichen Instrumentenspitze deutlich verbesserte Formgebung ohne ausgeprägte Abweichungen vom originären Kanalverlauf und sind damit zur manuellen Wurzelkanalaufbereitung gut geeignet. Die Spitzengeometrie dient einer besser zentrierten Führung und vermindert die Gefahr der Stufenbildung. Flexible Instrumente mit nicht schneidender Spitze besitzen gegenüber den herkömmlichen Edelstahlinstrumenten ein

vergleichsweise geringes Biegemoment und stellen damit eine entscheidende Verbesserung bezüglich der Entwicklung eines idealen Aufbereitungsinstrumentes dar.

*K-Flexoreamer* und *K-Flexofile* erreichen bei drehend-schabender Arbeitsweise die größte Schneidleistung aller manuell einzusetzender Wurzelkanalinstrumente (Schäfer et al. 1992). Bereits im Jahre 1969 konnte u.a. Vessey zeigen, dass der drehend-schabende Einsatz („reaming action“) von Wurzelkanalinstrumenten zu besseren Aufbereitungsergebnissen führte als die feilende Arbeitsweise. Schäfer (1994) ging der Auswirkung der Aufbereitung gekrümmter Kanäle mit flexiblen Instrumenten nach. Dabei ergaben sich bei einer kombinierten Arbeitsweise, indem die Instrumente mit den ISO-Größen 015 und 020 zunächst drehend-schabend eingesetzt und anschließend mit den ISO-Größen 025 bis 035 nach der „*Balanced-force-Technik*“ aufbereitet wurden, die besten Ergebnisse. Instrumente vom Typ K-Feilen eignen sich durch die Richtung der Arbeitsschneiden besonders für die „*Balanced-force-Technik*“, da sie effektiv nach beiden Richtungen schneiden können.

Der Sauberkeit gekrümmter Wurzelkanäle widmeten sich Wu und Wesselink (1995). Die Autoren verglichen drei verschiedene Techniken („*Crown-down-pressureless*“, „*Step-back*“ und „*Balanced-force-Technik*“) an extrahierten Zähnen. Dabei führte die „*Balanced-force-Technik*“ – insbesondere im apikalen Kanalabschnitt – stets zu signifikant saubersten Kanalwänden. Städtler und Jeglitsch (1993) beurteilten *K-Flexofiles* im Verhältnis zu den übrigen Feilen als signifikant elastischer.

Das *FlexMaster*-System ist das bisher am besten untersuchte maschinelle NiTi-Aufbereitungssystem. Gressmann und Hülsmann (2001) erreichten damit in den meisten Kanälen eine saubere Wand mit keinen oder nur wenigen Debrisauflagerungen (Scores 1 und 2). Gressmann (2001) maß *FlexMaster*-Instrumenten und dem HERO-System gleiche Reinigungsleistungen bei; auch wenn keine vollständig gereinigten Kanäle gefunden wurden, waren die Kanalwände doch deutlich besser von Auflagerungen gereinigt als nach Präparation mit LightSpeed oder ProFiles.

Mit den *FlexMaster*-Instrumenten lassen sich nach Weiger et al. (2001) auch gekrümmte Wurzelkanäle ohne nennenswerte Arbeitslängenverluste bis zu einer apikalen Aufbereitungsgröße von ISO 040 präparieren. Hierfür ist im Vergleich zum LightSpeed-System und zur Handinstrumentierung der geringste Zeitaufwand erforderlich; in der LightSpeed-Gruppe brachen zwei Instrumente. Der Anforderung, Wurzelkanalwanddentin zirkumferent möglichst gleichmäßig abzutragen, wurde keine der drei Aufbereitungstechniken gerecht. Der in der Mehrzahl der Fälle festgestellte unvollständige Kanalwandabtrag resultierte unter anderem aus einer unerwünschten Verlagerung der Wurzelkanalachse. Dieser

Effekt wurde am häufigsten nach Anwendung von *FlexMaster*-Instrumenten beobachtet. Bei Anwendung eines Motors mit den programmierten Feilenparametern und unter Beachtung der Arbeitshinweise ist nach Sonntag und Stachniss (2002) ein gutes Aufbereitungsergebnis zu erzielen. Durch die überschaubare Instrumentenanzahl des *FlexMaster*-Systems und das vertraute Design wird der Einstieg in die rotierende Aufbereitung erleichtert. Der Hersteller bietet inzwischen eine IntroFile (Taper .11), die die Gates Erweiterer Nr. 2 und 3 ersetzt, an. Die Aufbereitung gekrümmter Wurzelkanäle mit *FlexMaster*-Nickel-Titan-Feilen ist somit sowohl für routinierte Behandler als auch für Neuanwender mit entsprechender Vorübung zu empfehlen. Auch nach den vorliegenden In-vitro-Untersuchungen kann in Übereinstimmung zu Sonntag und Stachniss (2002) das *FlexMaster*-System empfohlen werden. Darüber hinaus kann von einer guten Arbeitssicherheit ausgegangen werden, da es in der vorliegenden In-vitro-Studie zu keinem Instrumentenbruch kam.

Braun et al. (2003a) untersuchten die Kanalbegradigung mit den Nickel-Titan-Systemen ProFile und *FlexMaster* im Vergleich zur Handinstrumentierung mit konventionellen K-Feilen und fanden im Gegensatz zu Weiger et al. (2001), dass bei der Wurzelkanalaufbereitung mit den maschinellen Systemen ProFile und *FlexMaster* eine geringere Kanalbegradigung erwartet werden kann als bei der Handaufbereitung mit K-Feilen.

Braun et al. (2003b) untersuchten nachfolgend die Reinigung des Wurzelkanalsystems nach Aufbereitung mit den Nickel-Titan-Systemen ProFile und *FlexMaster* und nach Handinstrumentierung mit K-Feilen histologisch. Bei allen Aufbereitungsmethoden blieb vor allem in den apikalen Kanalabschnitten Weichgewebe zurück. Die Wurzelkanalaufbereitung mit den maschinellen Systemen ProFile und *FlexMaster* war im apexnahen Bereich effektiver als die Handaufbereitung. Da aber auch mit diesen Systemen nicht immer der gesamte Umfang des Kanallumens bearbeitet wird, sollte auf eine zusätzliche chemische Kanalreinigung bzw. -desinfektion nicht verzichtet werden.

Chanteaux et al. (2001) verglichen die Reinigungsfähigkeit von *FlexMaster*-Instrumenten mit der von Flexicut-Handinstrumenten. Insgesamt zeigten die NiTi-Feilen in allen Parametern (Debris, Schmierschicht, Wurzelkanaloberfläche) bessere Leistungen als die Handinstrumente. Signifikante Unterschiede wurden in den gekrümmten Wurzelkanälen im apikalen und mittleren Drittel für das Bewertungskriterium Debris, im mittleren Mittel für das Bewertungskriterium Schmierschicht und in allen Abschnitten für das Kriterium Oberflächenbeschaffenheit gefunden. Somit ergab die *FlexMaster*-Instrumentation glatte Wände mit wenig Schmierschicht und Dentinrückständen; Schmierschicht und Dentinreste verblieben aber trotz Spülung mit EDTA. Die hier vorliegenden Ergebnissen standen nicht in

Übereinstimmung zu Chanteaux et al. (2001). Nach Handinstrumentierung war weniger Schmierschicht (Graduierung 1) vorhanden als nach *FlexMaster*-Instrumentation (Graduierung 2 und 3).

Nach Lohmann (2002) führte *FlexMaster* im Vergleich zu *K-Flexofile* zu einer geringeren Kanalverlagerung und –begradigung; die Aufbereitung gelang in kürzerer Zeit. *K-Flexofile* erzeugten jedoch weniger Debris und weniger Schmierschicht. Im apikalen Drittel lagen keine Unterschiede vor.

Eine völlig andere Arbeitsweise als bei den permanent rotierenden Systemen mit oder ohne integrierter Drehmomentbegrenzung liegt dem maschinellen *KaVo ENDOflesh*-System zugrunde. Dieses System besteht aus flexiblen K-Feilen aus Edelstahl mit herkömmlicher, also ISO-genormter Konizität und nicht schneidenden, sogenannten Batt-Spitzen sowie einem speziellen Winkelstück.

Bei *KaVo ENDOflesh* erfolgt die vom Winkelstück vorgegebene Rotation der Instrumente in Uhrzeigerichtung und wird bei Überschreiten eines definierten Grenzdrehmomentes gestoppt. Eine bei anderen Systemen (z.B. *FlexMaster*) einsetzende Rotation im Gegenuhrzeigersinn erfolgt nicht. Die *ENDOflesh*-File wird mittels Winkelstück im Wurzelkanal nach koronal gezogen. Hierbei erfolgt der eigentliche Materialabtrag. Sobald das Instrument wieder frei im Wurzelkanal ist, startet die Rotation automatisch. Die rhythmischen nach apikal und koronal gerichteten Bewegungen dieses System sind der manuellen drehend-schabenden Arbeitsweise ähnlich.

Wird das Instrument rotierend in den Wurzelkanal eingeführt, so schneiden sich die Instrumentenschneiden in das Wurzelkanalwanddentin ein. Dies hat einen Anstieg des Drehmomentes zur Folge. Sobald das jeweils eingestellte Grenzdrehmoment erreicht wird, stoppt die Rotation. Nun wird die *ENDOflesh*-File mittels Winkelstück im Wurzelkanal nach koronal gezogen, wobei der eigentliche Materialabtrag erfolgt. Schwarze und Geurtsen (1996) bestätigten, dass maschinelle Aufbereitung zumeist eine dickere Schmierschicht erzeugt als manuelle Instrumentierung. Dies untermauerten Schäfer und Zapke (1999, 2000a, b) mit dem maschinellen ProFile-System unter Anwendung von Nickel-Titan-Instrumenten im Vergleich zur manuellen Aufbereitung. Hingegen erzeugte das maschinelle *ENDOflesh*-System eine der manuellen Aufbereitung nahezu gleiche Schmierschicht. Während bislang die manuelle Aufbereitung hinsichtlich der Reinigungseffizienz im Vergleich zur maschinellen Aufbereitung zumeist als überlegen bewertet wurde, erzielten Schäfer und Zapke (2000a, b) mit dem maschinellen *ENDOflesh*-System eine nahezu gleiche Reinigungswirkung.

Nach Schäfer (2000) steht mit dem *ENDOflash*-System eine maschinelle Aufbereitungshilfe zur Verfügung, die sowohl hinsichtlich der Formgebung als auch der Reinigungswirkung weitgehend der manuellen Instrumentierung entspricht. Die manuelle Wurzelkanalaufbereitung (Gruppe 1 und 2) wurde in der vorliegenden Studie der Wurzelkanalaufbereitung mit *ENDOflash*-Instrumenten aus Edelstahl (Gruppe 4 und 6) bzw. Nickel-Titan (Gruppe 5 und 7) und nach „*Step-back-Technik*“ bzw. *Modifizierter „Crown-down-Technik*“ gegenübergestellt. Die maschinelle Wurzelkanalaufbereitung mit Edelstahl-*ENDOflash*-Instrumenten und „*Step-back-Technik*“ lag in der Rangfolge der Reinigungswirkung an erster Stelle und war der manuellen Wurzelkanalaufbereitung nur wenig bzw. kaum überlegen.

Nach Schäfer (2000) erlaubt das *ENDOflash*-System weiterhin bis zu einer Wurzelkanalkrümmung von ungefähr 30° eine weitgehend formgerechte und effiziente Aufbereitung. Da die zu diesem System gehörenden Edelstahlinstrumente im Vergleich zu den Nickel-Titan-Instrumenten einerseits wesentlich billiger sind und andererseits eine längere Lebensdauer aufweisen, ist auch unter wirtschaftlichen Aspekten der maschinelle Einsatz der Edelstahlinstrumente jenem der Nickel-Titan-Instrumente vorzuziehen. Lediglich bei stärker ausgeprägten Krümmungen der Wurzelkanals (über 30°) kann die Anwendung der permanent rotierenden Nickel-Titan-Instrumente vorteilhaft sein. Berücksichtigt werden sollte dann jedoch, dass diese Systeme eine erhebliche Übungsphase, eine äußerst vorsichtige Arbeitsweise (u.a. druckloses Arbeiten, exakte Einhaltung der empfohlenen Rotationsgeschwindigkeit) sowie eine spezielle Aufbereitungstechnik („*Crown-down-Technik*“ unter Einbeziehung von Instrumenten mit unterschiedlichen Konizitäten) erfordern.

*ENDOflash*-Feilen wurden bis 2005 aus flexiblem Edelstahl mit modifizierter nichtschneidender Spitze und abgerundeten Schultern in den ISO-Größen 015 bis 080 angeboten, später auch aus Nickel-Titan gefertigt als NiTi-Flex-K-Feilen in den ISO-Größen 015 bis 060; die Produktion wurde eingestellt. Im Gegensatz zu den *FlexMaster*-Instrumenten gab es nur eine Konizität (.02), keine Instrumentensequenzen, Tiefenmarkierungen befanden sich ebenfalls nicht am Arbeitsteil. Am Kopf des Winkelstückes war ein um ca. 300° freidrehbarer Tiefenstophalter aufgesteckt, der auf den Referenzpunkt am Zahn ausgerichtet wurde und mit dessen Hilfe ein unproblematisches Einstellen der Arbeitslänge möglich war. Eine vom Hersteller entwickelte dreieckige Messlehre diente dem Einstellen der Arbeitstiefe der *ENDOflash*-Feilen.

Nachfolgemodell des *KaVo ENDOflash LUX 3* Winkelstücks 3640L ist das *ENDO-advance* (KaVo Dental GmbH, D-Biberach) mit Sicherheitskupplung für alle gängigen NiTi-Feilen sowie vier Drehmomenteinstellungen (0.25, 0.5, 1.0, 3.0), die sich über einen Drehring

einstellen lassen. Zu *KaVo ENDOflesh* Nickel-Titan-Feilen liegt im Schrifttum nur eine Untersuchung von Meister und Hülsmann (2004) vor. Die Reinigungswirkung unterschied sich in den 3 Gruppen (I. *ENDOflesh* mit Edelstahlfeilen in der standardisierten Technik, II. *ENDOflesh* mit Nickel-Titan-Feilen in der standardisierten Technik, III. *ENDOflesh* mit Nickel-Titan-Feilen in der „*Crown-down-Technik*“) nur geringfügig. In der vorliegenden Studie wurden Nickel-Titan-*ENDOflesh*-Instrumente mit Edelstahlinstrumenten unter Anwendung der „*Step-back-Technik*“ und Modifizierten „*Crown-down-Technik*“ verglichen. Die Edelstahlinstrumentierung erwies sich in beiden Techniken als effektiver. In Übereinstimmung zu Meister und Hülsmann (2004) erwies sich das *ENDOflesh*-System als sicheres Hilfsmittel zur Wurzelkanalaufbereitung.

Die für die maschinelle Aufbereitung auch angebotenen *K3*-Feilen besitzen drei asymmetrisch angeordnete Schneidekanten. Ein positiver Spanwinkel sorgt für die aktive Schneidwirkung. Eine breite radiale Fase („*radial land*“) verstärkt das Arbeitsteil des Instruments und bietet zusätzlichen Widerstand gegen Verwindung im Bereich der Schneidekanten. Die Entlastung der radialen Fase reduziert die Reibung an der Kanalwand, die dritte radiale Fase stabilisiert das Instrument, zentriert es im Kanallumen und verhindert ein zu starkes Eindrehen in den Wurzelkanal. Nach Rödiger et al. (2005) führte das maschinelle Nickel-Titan-System *K3* hinsichtlich Debris und sauberen und glatten Kanalwänden zu guten Ergebnissen. Rödiger et al. (2005) benutzten gleichfalls die numerische Bewertungsskala von Hülsmann et al. (1997), begannen die Zählung der 5 Graduierungen aber nicht mit Null sondern Eins. Die koronalen und medialen Kanalabschnitte wurden besser von Debris befreit als die apikalen Kanalareale. Eine zufrieden stellende Entfernung der Schmierschicht konnte nicht erreicht werden (*K3*: 40,0% Score 1 und 2). Im Allgemeinen nahm die Anzahl der insuffizienten Scores (3, 4 und 5) von koronal nach apikal zu und herrschte im apikalen Drittel vor. Während der Wurzelkanalaufbereitung traten nur geringe Längenverluste (0,3 mm) auf. Komplikationen wie Instrumentenfrakturen, Perforationen oder apikale Blockaden konnten nicht beobachtet werden. Vorliegend konnte die gute Wurzelkanalaufbereitung mit *K3* bestätigt werden. Unter den insgesamt 8 Vergleichsgruppen belegte *K3* zwar den letzten Rang, führte aber zu sehr glatten Wurzelkanalwänden mit gleichmäßiger Schmierschicht mit wenig offenen Dentinkanälchen.

Waren zu Beginn der Studie nur Instrumente der Konizitäten .04 und .06 erhältlich, so werden vom Hersteller inzwischen auch Instrumente ISO 015 bis 045 mit Taper .02 und ein dritter Zugangserweiterer mit Taper .12 angeboten.

#### 6.4 Zur Bewertung der manuellen versus maschinellen Wurzelkanalaufbereitung

In der vorliegenden Untersuchung konnte die *Modifizierte „Balanced-force-Technik“*, *K-Flexoreamer* und *K-Flexofile* (Gruppe 1) als manuelle Wurzelkanalaufbereitung der maschinellen mit der *Modifizierte „Crown-down-Technik“*, *FlexMaster*, Edelstahl-ENDOfash, Nickel-Titan-ENDOfash, *K3* und *„Step-back-Technik“*, Edelstahl-ENDOfash, Nickel-Titan-ENDOfash (Gruppe 2) gegenübergestellt werden (Abb. 34).

Bei der Entfernung der Debris erwies sich die maschinelle Aufbereitung im apikalen Drittel der Innenkurvatur wirkungsvoller; weiterhin wies die Kanalwand des apikalen Kanalabschnittes der Außenkurvatur weniger Aufbereitungsspuren auf und zeigte keine Verblockungen im Bereich des *Foramen apicale*. Die manuelle Wurzelkanalaufbereitung hinterließ im apikalen und mittleren Drittel der Außenkurvatur weniger Schmierschicht (Tab. 18).

Schäfer et al. (1994a, b) und Schäfer (1995a, b) maßen den von der Industrie auf den Markt gebrachten Nickel-Titan-Handinstrumenten mit 2%iger Konizität und enormer Flexibilität keine grundlegende Verbesserung gegenüber konventionellen Edelstahlinstrumenten bei. Die zum permanent rotierenden Einsatz empfohlenen Instrumente aus Nickel-Titan besitzen im Gegensatz zu den für die manuelle Anwendung empfohlenen eine veränderte Konizität.

Wird nach Schäfer (1999a, b) die Vielzahl der durch unterschiedliche Konizitäten bedingte häufigere Instrumentenwechsel bei permanent rotierenden Nickel-Titan-Instrumenten berücksichtigt und empfiehlt der Hersteller ausdrücklich eine initiale Instrumentierung des Wurzelkanals mit dünnen Handinstrumenten, ergibt sich zumeist nur ein geringer Zeitgewinn bei Anwendung der permanent rotierenden Systeme auf Nickel-Titan-Basis. Sonntag und Stachniss (2002) konnten aber bei Studierenden zeigen, dass diese für die maschinelle Aufbereitung (*FlexMaster*) stark gekrümmter Wurzelkanäle nur 50% der Aufbereitungszeit benötigen, die für die manuelle Aufbereitung mit Edelstahlfeilen investiert werden musste; signifikant häufiger konnte bei maschineller Aufbereitung die korrekte Aufbereitungslänge erreicht werden. Auch nach mehreren Jahren der experimentellen und klinischen Bewährung nahm die Zahl der Nickel-Titan-Systeme immer noch weiter zu. Der Einsatz für die manuelle Aufbereitung ist gegenüber der maschinellen Anwendung aber inzwischen in den Hintergrund gerückt. Nach Hülsmann (2002) gibt die Auswertung der vorliegenden Literatur keine Hinweise auf die Überlegenheit eines bestimmten NiTi-Systems.



## 6.5 Zur Bewertung von Edelstahl- versus NiTi-Instrumenten

Nach statistischem Vergleich der Ergebnisse nach *Modifizierter „Balanced-force-Technik“ + K-Flexoreamer* und *K-Flexofile*, *„Step-back“-Technik + Edelstahl-ENDOfash* und *Modifizierter „Crown-down-Technik“ + Edelstahl-ENDOfash* (Gruppe 1) gegenüber der *Modifizierten „Crown-down-Technik“ + FlexMaster*, *„Step-back-Technik“ + Nickel-Titan-ENDOfash*, *Modifizierten „Crown-down-Technik“ + Nickel-Titan-ENDOfash* und *Modifizierten „Crown-down-Technik“ + K3* (Gruppe 2) lag im apikalen Abschnitt der Innenkurvatur nach Anwendung von NiTi-Instrumenten weniger Debris vor. Das apikale Drittel der Außenkurvatur zeigte eine glattere Oberfläche. In fast allen Kanalwandabschnitten wurde nach der Verwendung von Edelstahlfeilen weniger Schmierschicht nachgewiesen (Abb. 36, Tab. 19).

Unabhängig von manueller bzw. maschineller Verwendung zeigt der Vergleich von Edelstahlinstrumenten und NiTi-Instrumenten, dass NiTi-Instrumente dem Instrumententyp der Reamer entsprechen und nicht den herkömmlichen und von den meisten Zahnärzten verwendeter K- oder Hedström-Feilen. Dies verlangt eine gänzlich andere Handhabung. K- und Hedström-Feilen müssen mit Druck gegen die Kanalwand gepresst werden, um effektiv schneiden zu können, sie werden aktiv eingesetzt. NiTi-Instrumente arbeiten nach Hülsmann (2002) eher schabend, sie werden extrem passiv, ohne vom Zahnarzt ausgeübten Druck eingesetzt. Jedes der Nickel-Titan-Systeme arbeitet nach einem eigenen Präparationskonzept. Der Einsatz und die Reihenfolge der einzelnen Instrumente sind – orientiert an der Feilengeometrie – in den meisten Fällen sorgfältig aufeinander abgestimmt. Hülsmann (2002) wies darauf hin, je nach Fabrikat auf die Einhaltung der systemspezifischen Umdrehungszahl zu achten. Zwar ist es mit permanent rotierenden Nickel-Titan-Instrumenten möglich, auch stärker gekrümmte Wurzelkanäle formgerecht aufzubereiten, aber die dabei zu erzielende intrakanaläre Reinigungswirkung ist im Vergleich zur manuellen und maschinellen Anwendung der *K-Flexofiles* aus Edelstahl nach Schäfer (2000) deutlich schlechter. Dies konnte auch vorliegend bestätigt werden. Um eine gute Formgebung bei der Aufbereitung gekrümmter Wurzelkanäle zu erzielen ist nach Schäfer (2000) im Vergleich zu Edelstahlinstrumenten ein wesentlich größerer zeitlicher und materieller Aufwand erforderlich, da NiTi-Feilen einerseits eine deutlich geringere Schneidleistung und andererseits einen erheblich höheren Preis als Edelstahlinstrumente aufweisen (Schäfer 1999a, b).

Die erstaunliche Flexibilität des Nickel-Titan-Materials führt dazu, dass sie auch mit erhöhter Konizität hoch flexibel sind – selbst in stark gekrümmten Kanälen. Ein Edelstahlinstrument

mit gleicher Konizität wäre sehr unflexibel und könnte in gekrümmten Wurzelkanälen nicht verwendet werden.

Die Schneidleistung (Schabwirkung) ist ein wichtiges Qualitätskriterium für Wurzelkanalinstrumente (Camps and Pertot 1995). Die Schneidleistung hat einen wesentlichen Einfluss auf die adäquate Entfernung des infizierten Kanalwanddentins und auf die Formgebung des Wurzelkanals. Die immer noch niedrigeren Schneidleistungen der Nickel-Titan-Feilen gegenüber den konventionellen Edelstahlinstrumenten gehen voraussichtlich sowohl auf die Materialeigenschaften der Legierung (Schäfer 1996a) als auch auf die durch den fräsenden Herstellungsprozess häufig entstehenden Ungenauigkeiten und Defekte an den Schneideflächen und -kanten zurück. Eine im Vergleich zu Edelstahlfeilen um 40% geringere Schneideeffizienz ist die Folge (Tepel und Schäfer 1996).

Da Nickel-Titan-Instrumente seit ihrer Einführung in die Endodontie die Schneidleistung konventioneller Edelstahlinstrumente nie erreichten, wurden in jüngster Zeit zahlreiche Veränderungen der Instrumentenkonfiguration vorgenommen, die die Schneidleistung verbessern sollten. Das betrifft vor allem Neuerungen bei den Konstruktionsmerkmalen, wie Querschnittsform, Konizität (Steigung) und Tangentensteigungswinkel. Eine bis heute fehlende Standardisierung der Schneidleistung in Form von ANSI-/ADA-oder ISO-Normen, wie sie für die meisten anderen Materialeigenschaften von Wurzelkanalinstrumenten (Größe, Frakturverhalten, Korrosionsbeständigkeit usw.) vorliegen, lässt eine einheitliche qualitative Einstufung der aktuellen Instrumente in Übereinstimmung zu Stelzner et al. (2004) nicht zu.

Die Ergebnisse von Stelzner et al. (2004) legen nahe, dass deutliche Beziehungen zwischen der Schneidleistung eines Wurzelkanalinstruments und dessen Querschnittsform bestehen. Instrumente mit den höchsten maximalen Eindringtiefen – ProTaper und *FlexMaster* – verfügen über eine dreieckige Querschnittsform des Arbeitsteils mit spitz zulaufenden Schneidekanten und konvexen Schneideflächen. Instrumente mit mehr abgeflachten Schneidekanten (*K3*) zeigten vergleichsweise geringere Schneidleistungen.

Der vom Hersteller angegebene günstige Effekt eines positiven Spanwinkels auf die Effizienz der *K3*-Instrumente konnte in dieser Studie mit ihrer speziellen Fragestellung nicht bestätigt werden. Sie zeigten ein eher untypisches Verhalten, da hier die Schneidleistungen aller Feilen mit zunehmender Größe der Instrumente abnahmen; dieser Trend war statistisch signifikant. Wahrscheinlich stehen die untypischen Ergebnisse in engem Zusammenhang mit dem neuartigen ungewöhnlichen Design der *K3*-Instrumente. Das betrifft u.a. den asymmetrischen Instrumentenquerschnitt, gekennzeichnet durch Schneidekanten mit positivem Spanwinkel, der ein aktives Abspannen des Kanalwandmaterials bedingt. Eventuell unterliegen derartige

Schneidekanten einer höheren Abnutzung als solche mit negativem Spanwinkel, die sich durch eine mehr spanende Arbeitsweise auszeichnen.

Feilen mit dreieckigem Instrumentenquerschnitt – und somit negativem Spanwinkel – erzielten im Vergleich zu anderen geometrischen Formen bessere Ergebnisse. Der positive Einfluss dreieckiger Arbeitsteilgeometrien ist bereits aus anderen Untersuchungen von Camps und Pertot (1995) sowie von Schäfer (1996a) bekannt.

## **6.6 Zur Bewertung der Aufbereitungstechniken auf die Reinigungswirkung im Wurzelkanal**

Dem Einfluss der *Modifizierten „Balanced-force-Technik“*, der *Modifizierte „Crown-down-Technik“* und der *„Step-back-Technik“* auf die Reinigungswirkung im Wurzelkanal konnte durch die statistische Bewertung der Ergebnisse nach Bildung von 3 Gruppen nachgegangen werden (Abb. 38).

Nach *Modifizierter „Balanced-force-Technik“* und *„Step-back-Technik“* war im mittleren Drittel der Innenkurvatur weniger Debris als nach der Anwendung der *Modifizierten „Crown-down-Technik“* vorhanden. Beide Aufbereitungstechniken führten auf der gesamten Außenkurvatur sowie im apikalen Bereich der Innenkurvatur nur zu geringen Mengen an Schmierschicht. Im Bereich des *Foramen apicale* erwies sich die *„Step-back-Technik“* als die beste Vorgehensweise. Der apikale Wurzelkanalabschnitt der Außenkurvatur zeigte nur nach Anwendung der *Modifizierten „Crown-down-Technik“* keine Aufbereitungsspuren (Tab. 20).

Die *„Balanced-force-Technik“* beschreibt nicht den Ablauf des Instrumenteneinsatzes und somit ein bestimmtes Aufbereitungsprofil, sondern die Bewegungstechnik selbst. Der Grundgedanke für diese Technik war, dass sich ein flexibles Instrument bei Belastung elastisch verformt und sich dadurch spannungsfrei an eine gekrümmte Form – wie den Wurzelkanal – anpassen kann.

Nach Roane et al. (1985) sind die in der ISO-Norm 3630-1 relativ scharfen Kanten mit einem 75°-Winkel entschärft worden und die Instrumentenspitze ist abgestumpft, so dass eine nicht schneidende Führungsspitze am Instrument resultiert. Prinzipiell ist diese nicht schneidende Führungsspitze auch für andere Arbeitstechniken von Vorteil. Nach Bargholz et al. (2006) erfolgt eine Instrumentierung damit sogar sicherer und schneller. Roane et al. (1985) erkannten, dass die Drehung des Instrumentes im Gegenuhrzeigersinn unter gleichzeitigem apikalen Druck die Frakturgefahr herabsetzt, weil der apikale Druck das Herausdrehen des

Instrumentes nach koronal verhindert. Durch dieses Gleichgewicht der Kräfte wird eine gleichmäßige Erweiterung der Kanalwände erzielt.

Auch gekrümmte Wurzelkanäle lassen sich instrumentieren. So bereiteten Southardt et al. (1987) gekrümmte Wurzelkanäle bis zur ISO-Größe 040 in 80% der Fälle ohne Veränderung des Kanalverlaufs auf. Mit zunehmender Instrumentengröße beobachteten Southardt et al. (1987) und Ciucchi et al. (1990) aber vermehrt Veränderungen des Kanalverlaufs und Verlust des apikalen Stopps.

Nach McKendry (1990) presst die „*Balanced-force-Technik*“ im Vergleich zur Ultraschallaufbereitung und „*Step-Back-Technik*“ signifikant weniger Material über das *Foramen apicale* heraus und nach Calhoun und Montgomery (1988) wird der ursprüngliche Kanalverlauf nur geringfügig verändert. In der vorliegenden Studie konnte dies allerdings durch die aufgetretenen Verblockungen nicht bestätigt werden. Ciucchi et al. (1990) hält die Gefahr eines Instrumentenbruchs für erhöht, da die Instrumente in gebogenen Wurzelkanälen wiederholt gedreht und dadurch unweigerlich stark überbeansprucht werden.

Nach Hellwig et al. (1999) ist ein Vorteil der „*Step-Back-Technik*“ darin zu sehen, dass die mit zunehmender Größe immer weniger flexiblen Instrumente nicht im Bereich der größten Krümmung zum Einsatz kommen und somit der einseitige Abtrag von Material an einer Kanalseite vermieden wird.

Bei Vergleich der in der vorliegenden Studie angewandten Aufbereitungstechniken wird deutlich, dass die angewandten Instrumentensequenzen bei der *Modifizierten „Crown-down-Technik“* zu einem häufigeren Einsatz der Feilen führten. Der dadurch resultierende intensive Kontakt mit den Wurzelkanalwänden läßt das Auftreten größerer Mengen an Schmierschicht erklären.

Bei der Mehrzahl der maschinellen Nickel-Titan-Systeme hat sich die die „*Crown-down-Technik*“ oder „*Step-down-Technik*“ als Aufbereitungstechnik durchgesetzt; der Wurzelkanal wird schrittweise von koronal nach apikal erschlossen. Die Methoden vereinen mehrere Vorteile miteinander: neben einer verbesserten Spülwirkung – die Spülkanüle kann bereits zu Beginn der Instrumentation ausreichend tief in den Wurzelkanal eingeführt werden – verhindert ein frühzeitiges Entfernen der bakteriell infizierten nekrotischen Gewebsbereiche ein iatrogenes Verschleppen von Bakterien nach apikal mit auftretender postoperativer Schmerzsensation. Die Veränderung der Arbeitslänge während der Aufbereitung fällt geringer aus und durch die frühe koronale Erweiterung wird von einer weitaus besseren Sensibilität für

den apikalen Wurzelkanal und einer erleichterten apikalen Aufbereitung berichtet (Walia et al. 1988, Thompson und Dummer 1997 a bis e, Steier und Beer 2006a, b).

Als mögliche Feilensequenzen bei der Anwendung von Nickel-Titan-Systemen und „*Crown-down-Technik*“ empfehlen Steier und Beer (2006a, b) eine variable Konizität bei konstantem Spitzendurchmesser, eine konstante Konizität mit variablem Spitzendurchmesser oder variable Konizität mit variablem Spitzendurchmesser.

In vorliegender Studie ist die Aufbereitung mit *FlexMaster*-Instrumenten durch den Wechsel der Konizitäten (absteigend von .06 bis .02) geprägt. Nach Übergang von Taper .06 zu .04 erfolgt unter Beibehaltung der Konizität die Abnahme der Spitzendurchmesser (ISO 030 bis 020). Die sich anschließende apikale Ausformung ist assoziiert mit dem Wechsel zu Taper .02 und dem Anstieg der Spitzendurchmessern (ISO 020 bis 035).

Mit dem *K3*-System erfolgt die Instrumentierung über die Taper .10, .08, .06 bis .04. Unter Beibehaltung der Konizität .04 erfolgt die nach apikal gerichtete Aufbereitung mit Instrumenten abnehmenden Spitzendurchmessers (ISO 030 bis 020). Nach Erreichen der Arbeitslänge erfolgt die apikale Erweiterung in umgekehrter Reihenfolge mit schrittweiser Zunahme der ISO-Größe.

## **6.7 Zur Bewertung des Einflusses der Instrumentenkonizität**

In der vorliegenden Untersuchung konnte durch Zusammenlegung der unterschiedlich behandelten Wurzelkanäle in 4 Gruppen auch dem Einfluss der Instrumentenkonizität nachgegangen werden (Abb. 40).

Die *Modifizierte „Balanced-force-Technik“*, *K-Flexoreamer* und *K-Flexofile*, Taper = .02/Manuell (Gruppe 1) und die *„Step-back-Technik“*, *Edelstahl-ENDOfash*, und *Nickel-Titan-ENDOfash*, Taper = .02/Maschinell (Gruppe 3) hinterließen im mittleren Drittel der Innenkurvatur nur wenig Debris. Bezüglich der Qualität der Oberflächenbeschaffenheit in beiden apikalen Kanalabschnitten war die *Modifizierte „Crown-down-Technik“*, *FlexMaster* und *K3*, Taper > .02/Maschinell (Gruppe 2) überlegen. Im apikalen und mittleren Drittel der Außenkurvatur lagen die niedrigsten Befunde zur Schmierschicht in der Gruppe 1 vor, während dessen die Befunde der Gruppe 3 im apikalen Drittel der Innenkurvatur und im Bereich des *Foramen apicale* besser ausfielen (Tab. 21).

Zu den Pionieren der NiTi-Instrumentierung gehören die Zahnärzte John MacSpadden und Ben Johnson, die das Konzept von NiTi-Instrumenten mit einer höheren Konizität als

konventionelle ISO-Feilen entwickelten. Darüber hinaus wurde eine gleichmäßige, fließende Konizität gefordert („taper and flow“), die eine ausreichende Wirkung der Spüllösung auch im apikalen Kanalbereich und einen abschließenden dichten Verschluss des Kanalsystems erlaubt. Die bestehende Disharmonie zwischen Kanalform und Instrumentenkonizität reduziert die Torsionsbelastung des Arbeitsteiles, da die Abtragfunktion nur von jenem Schneidenbereich übernommen wird, der bei der Tiefenpräparation in Kontakt zur Kanalwand tritt.

Schäfer (2000) und Bertrand et al. (2001) berichteten von einer Überlegenheit der stärker konischen NiTi-Systeme in gekrümmten Wurzelkanälen.

In neueren Studien an simulierten Wurzelkanälen und extrahierten Zähnen bestätigten Schäfer und Lohmann (2002) dies sowohl für das *FlexMaster*-System als auch für *K3*-Instrumente (Schäfer und Schlingemann 2003).

## **6.8 Schlussbetrachtung**

Die vorliegende Studie befasste sich in vitro mit der Effizienz unterschiedlicher Methoden der Wurzelkanalaufbereitung. Die Ergebnisse ordnen sich in das Schrifttum ein und bestätigen die zuvor angenommenen Arbeitshypothesen dahingehend,

- dass die maschinelle Wurzelkanalaufbereitung der manuellen gleichwertig ist, zukünftig sich die maschinelle Wurzelkanalaufbereitung durchsetzen wird, wobei die manuelle Wurzelkanalaufbereitung ihre Berechtigung behält.
- dass die maschinelle Aufbereitungshilfe *KaVo Endoflash* mit Edelstahlinstrumenten im Vergleich zu *FlexMaster* und *K3* eine bessere Reinigungswirkung erzielt.
- dass saubere Wurzelkanalwände durch kein Wurzelkanalinstrumentensystem allein zu erreichen sind und eine chemische Unterstützung, die Verwendung von Spülflüssigkeiten, nach wie vor unumgänglich ist.

## 7 Schlussfolgerungen

Die vorliegende Studie sollte der Effizienz der instrumentellen Wurzelkanalaufbereitung nachgehen. Auf der Basis eines adäquaten In-vitro-Studiendesigns mit natürlichen Zähnen konnte folgende festgestellt werden:

1. Eine vollständige Reinigung des Wurzelkanals wird mit keinem Aufbereitungssystem erreicht.
2. Mit der maschinellen Wurzelkanalaufbereitung können, der manuellen Wurzelkanalaufbereitung gleichwertig, gute Ergebnisse erzielt werden. Damit stehen neben den kostengünstigeren flexiblen Handinstrumenten aus Edelstahl die wesentlich kostenintensiveren maschinellen Systeme aus Nickel-Titan zur Verfügung.
3. Der Gefahr der Verblockung des *Foramen apicale* sollte durch regelmäßige Rekapitulation mit einem Instrument kleinerer ISO-Größe begegnet werden.
4. Die Ziele der Präparation des Wurzelkanalsystems können durch Instrumentierung allein nicht erreicht werden, hierfür ist die Desinfektion mit antibakteriell wirksamen Lösungen und Substanzen notwendig.
5. Die *Modifizierte „Crown-down-Technik“* und die Verwendung von Nickel-Titan-Feilen mit erhöhter Konizität erhöhen die Effektivität der Irrigation bereits in der frühen Phase der Aufbereitung. Für die initiale Eröffnung sind daher spezifische Kanaleingangserweiterer mit progressiver Konizität oder Gates-Glidden-Bohrer sowohl für die maschinelle als auch manuelle Aufbereitung zu empfehlen.
6. Die Verwendung von Spülflüssigkeiten auf die Entfernung von Debris wirkt unterstützend. Natriumhypochlorit hat sich als Spülflüssigkeit in der Endodontie bewährt.
7. Eine (passive) ultraschallgestützte Spülung kann die Reinigungswirkung und Desinfektionswirkung verbessern und zur Reinigung nicht instrumentierbarer Kanalareale beitragen. Zur Effektivität und Anwendungssicherheit eines hydrodynamischen Spülsystems fehlen noch ausreichende Studien.
8. Schmierschicht entsteht dort, wo Dentin bearbeitet wird. Je mehr Instrumente zum Einsatz kommen, desto mehr Schmierschicht entsteht. Zu deren Entfernung wird eine zusätzliche Spülung mit EDTA empfohlen.
9. Für die erfolgreiche endodontische Therapie eines Zahnes, benötigt der Behandler nach wie vor ein individuelles Konzept.

## 8                    **Literatur**

1.     Abou-Rass M, Frank AL, Dudley HG. 1980. The anticurvature filing method to prepare the curved root canal. J Am Dent Assoc, 101:792-794.
2.     Bargholz C, Hör D, Zirkel C. 2006. Praxisleitfaden Endodontie. Erste Aufl. München, Jena: Urban & Fischer-Verlag.
3.     Bartha T, Weiger R, Löst C. 2004. Querschnittskonfigurationen von Molaren in der Nähe des apikalen Foramens. Endodontie, 13:111-118.
4.     Barthel CR, Gruber S, Roulet JF. 1999. Aufbereitung von Wurzelkanälen mit drei verschiedenen Aufbereitungssystemen in vitro. Dtsch Zahnärztl Z, 54:474-478.
5.     Baumann MA. 1995. Die räumliche Darstellung des Endodonts. München, Wien: Hanser-Verlag.
6.     Baumann MA. 2001a. ProTaper – eine Generation von NiTi-Feilen. Endodontie, 10:351-364.
7.     Baumann MA. 2001b. Das RaCe-System. Ein vielversprechender neuer Ansatz für die Wurzelkanalaufbereitung mit Nickel-Titan-Feilen. ZWR, 12:837-845.
8.     Baumann MA. 2002. Endodontie: Rückblick und Ausblick. Endod J, 1:6-16.
9.     Baysan A, Whiley R, Lynch E. 2000. Antimicrobial effects of a noval ozone generating device on microorganisms associated with primary root carious lesions in vitro. Caries Res, 34:498-501.
10.    Beer R, Gängler P. 1989. Rasterelektronenmikroskopische Untersuchung der Wurzelkanalaufbereitung mit Ultraschall. Dtsch Zahnärztl Z, 44:334-339.
11.    Beer R, Mayerhöfer G. 1997. Integration der Endodontie in das Gesamtsanierungskonzept. Endodontie, 4:309-322.
12.    Bergenholtz G. 1994. Biologische Aspekte der Wurzelkanalbehandlung. Endodontie, 1:7-18.
13.    Bertrand MF, Lupi-Pégurier L, Medioni E, Muller M, Bolla M. 2001. Curved molar root canal preparations using Hero 642 rotary nickel-titanium instruments. Int Endod J, 34:631-636.
14.    Bolanos OR, Jensen JR, 1980. Scanning electron microscope comparisons of the efficacy of various methods of root canal preparation. J Endod, 6: 815-822.
15.    Brandt M, Stiefel A, Schaller HG. 2001. Wirkungen von Spüllösungen für die



- endodontische Behandlung. Eine REM-Studie. ZWR, 3:124-129.
16. Braun A, Schüttlöffel ME, Frentzen M. 2003a. Wurzelkanalbegradigung durch die Aufbereitung mit rotierenden NiTi-Systemen. Dtsch Zahnärztl Z, 58:42-45.
  17. Braun A, Schüttlöffel ME, Frentzen M. 2003b. Histologische Untersuchung des Wurzelkanals nach Aufbereitung mit rotierenden NiTi-Systemen. Dtsch Zahnärztl Z, 58:46-49.
  18. Brendel KU. 2001. Rationelle und minimalinvasive Wurzelkanalaufbereitung mit dem GT Rotary System. Endodontie, 3:259-276.
  19. Briseño MB. 1992. Einfluss verschiedener Wurzelkanalinstrumente bzw. Aufbereitungssysteme auf die Präparation gekrümmter Wurzelkanäle. Endodontie, 4:279-290.
  20. Buchanan LS. 1989. Management of the curved root canal. J Calif Dent Assoc, 17:18-25.
  21. Buchanan LS. 2001. The standardized-taper root canal preparation. Part II: GT file selection a safe handpiece-driven file use. Int Endod J, 34:63-71.
  22. Calhoun G, Montgomery S. 1988. The effects of four instrumentation techniques on root canal shape. J Endod, 14:273-277.
  23. Cameron JA. 1983. The use of ultrasonics in the removal of the smear layer. A scanning electron microscope study. J Endod, 13:292-298.
  24. Cameron JA. 1995. Factors affecting the clinical efficiency of ultrasonic endodontics: A scanning electron microscopy study. Int Endod J, 28:47-53.
  25. Camps JJ, Pertot WJ. 1995. Torsional and stiffness properties of nickel-titanium K-files. Int Endod J, 28:239-243.
  26. Chang HH, Fulton C, Lynch E. 2003. Antimicrobial efficacy of ozone on *Enterococcus faecalis* [Abstract]. Göteborg: The 81<sup>st</sup> General Session of the International Association of Dental Research (IADR).
  27. Chanteaux M, Baumann-Giedziella UA, Hellmich M, Baumann MA. 2001. Cleaning and shaping efficiency of FlexMaster evaluated by SEM [Abstract]. München: Biennial Congress of the European Society of Endodontology (ESE).
  28. Ciucchi B, Cergneux M, Holz J. 1990. Comparison of curved canal shape using filing and rotational instrumentation techniques. Int Endod J, 23:139-147.
  29. Clem WH. 1969. The adolescent patient. Dent Clin North Am, 13:483-486.

30. Crumpton BJ, Goodell GG, McClanahan SB. 2005. Effects on smear layer and debris removal with varying volumes of 17% REDTA after rotary instrumentation. *J Endod* J, 38:223-229.
31. Cunningham WT, Martin H, Forrest WR. 1982a. Evaluation of root canal debridement by the endosonic ultrasonic synergistic system. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, 53:401-404.
32. Cunningham WT, Martin H, Pelleu GB, Stoops DE. 1982b. A comparison of antimicrobial effectiveness of endosonic and hand root canal therapy. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, 54:238-241.
33. Cunningham CJ, Senia ES. 1992. A three-dimensional study of canal curvature in the mesial roots of mandibular molars. *Int Endod J*, 18:294-300.
34. Dirrheimer M. 2005. Maschinelle Wurzelkanalaufbereitung mit dem RaCe-System. *ZMK*, 21:726-735.
35. Dammaschke T. 1999. Natriumhypochlorit – eine Übersicht. *Endodontie*, 1:9-19.
36. Dummer PMH, Al-Omari MAO, Bryant S. 1998. Comparison of the performance of four files with rounded tips during shaping of simulated root canals. *J Endod*, 24:364-371.
37. Eggert C, Peters O, Meyer E, Barbakow F. 1998. Aufbereitung gekrümmter Wurzelkanäle unter Anwendung der Lightspeed – Methode. Teil 2: Praktische Anwendung. *Endodontie*, 1:31-40.
38. European Society of Endodontology. 1994. Qualitätsrichtlinien endodontischer Behandlung. Konsenspapier der Europäischen Gesellschaft für Endodontologie. *Endodontie*, 4:263-276.
39. Fava LRG. 1983. The double-flared technique: An alternative for biomechanical preparation. *J Endod*, 9:76-80.
40. Frank JR. 1994. Endodontic mishaps: Their detection, correction, and prevention. In: Ingle JJ, Bakland L, eds. *Endodontics*. 4<sup>th</sup> ed. Baltimore, Philadelphia, Hong Kong: Williams & Williams.
41. Frentzen M. 1994. Laseranwendungen in der Zahnerhaltung und Parodontologie-Eine Übersicht. *Dtsch Zahnärztl Z*, 49:113-118.
42. Frentzen M. 2002. Laser in der Endodontie – Eine Übersicht. *ZWR*, 111:375-390.
43. Geurtsen W. 1990. Die Wurzelkanalaufbereitung. Methoden im Überblick: Mechanische, chemische und schall-/ultraschall-aktivierte Verfahren. *Phillip J*, 1:23-30.

44. Girard S, Paqué F, Badertscher M, Sener B, Zehnder M. 2005. Assessment of a gel-type chelating preparation containing 1-hydroxyethylidene-1, 1-bisphosphonate. *Int Endod J*, 38:810-816.
45. Glickman GN, Dumsha TC. 1988. Problems in cleaning and shaping. In: Gutmann JL, Dumsha TC, Lovdahl PE, eds. *Problem solving in endodontics*. Chicago, London, Boca Raton: Year Book Medical Publishers.
46. Goerig AC, Michelich RJ, Schultz HH. 1982. Instrumentation of root canals in molar using the step-down technique. *J Endod*, 8:550-554.
47. Goldberg F, Soares I, Massone J, Soares IM. 1988. Comparative debridement study between hand and sonic instrumentation of the root canal. *Endod Dent Traumatol*, 4:229-234.
48. Goldman M, Kronman JH, Goldman LB, Clausen H, Grady J. 1976. New method of irrigation during endodontic treatment. *J Endod*, 2:257-260.
49. Grawehr M, Sener B, Waltimo T, Zehnder M. 2003. Interactions of ethylenediamine tetraacetic acid with sodium hypochlorite in aqueous solutions. *Int Endod J*, 36:411-417.
50. Gressmann G. 2001. Eine vergleichende In-vitro-Studie zur maschinellen Wurzelkanalaufbereitung mit den Nickel-Titan-Systemen HERO 642 und FlexMaster [Med Diss]. Göttingen.
51. Gressmann G, Hülsmann M. 2001. Die maschinelle Wurzelkanalaufbereitung mit dem FlexMaster-NiTi-System. *Endodontie*, 3:227-241.
52. Griessinger HR, Hannig M, Albers HK. 1993. Erfolgreiche Aufbereitung stark gekrümmter Wurzelkanäle. Die korono – apikale Technik. *ZWR*, 102:842-850.
53. Guldener PHA. 1978. Endodontie: Eine Literaturübersicht. *Schweiz Monatsschr Zahnmed*, 88:417-444.
54. Guldener PH, Langeland K. 1993. *Endodontologie. Diagnostik und Therapie*. Dritte Aufl. Stuttgart, New York: Georg-Thieme-Verlag.
55. Haffner C, Benz C, Kremers L, Diebold J, Folwaczny M, Mehl A, Hickel R, Löhrs U. 1997. Das Endox – Endodontiesystem – Ein Bericht über erste Erfahrungen. *ZWR*, 106:764-767.
56. Haffner C, Benz C, Hickel R. 1999. Das Endox – Endodontiesystem. Weitere Laborergebnisse und erste klinische Resultate. *ZWR*, 108:670-674.
57. Haikel Y, Allemann C. 1988. Effectiveness of four methods for preparing root canals: A scanning electron microscopic evaluation. *J Endod*, 14:340-345.

58. Hand RE, Smith ML, Harrison JW. 1978. Analysis of the effect of dilution on the necrotic tissue dissolution property of sodium hypochlorite. J Endod, 4:60-64.
59. Hauser V, Braun A, Frentzen M. 2006. Reinigung von Wurzelkanälen mit einem neuartigen hydrodynamischen Spülsystem (RinsEndo®) [Abstract]. Mainz: 20. Jahrestagung der DGZ.
60. Heidemann D. 2001. Praxis der Zahnheilkunde: Endodontie. Vierte Aufl. München, Jena: Urban & Fischer-Verlag.
61. Hellwig E, Klimek J, Attin T. 1999. Einführung in die Zahnerhaltung. Zweite Aufl. München, Jena: Urban & Fischer-Verlag.
62. Heckendorff M, Hülsmann M. 2002. Wirkungsweise und Indikationsbereich von Chelatoren – Eine Übersicht. Endodontie, 11:123-141.
63. Hess W. 1917. Anatomie der Wurzelkanäle des menschlichen Gebisses mit Berücksichtigung der feinen Verzweigungen am Foramen apicale [Med Habil]. Zürich.
64. Hinrichs RE, Walker WA, Schindler WG. 1998. A comparison of amounts of apically extruded debris using handpiece-driven Nickel-Titanium instrument systems. J Endod, 24:102-106.
65. Hoppe W, Schäfer E, Tepel J. 1993. Instrumentarium und Konzept für die manuelle Wurzelkanalaufbereitung. ZWR, 102:764-771.
66. Huhn C. 2001a. Moderne Endodontie. Aktuelle Informationen für die moderne Zahnarztpraxis, 1:18-19.
67. Huhn C. 2001b. Rotierende Wurzelkanalaufbereitung mit dem ATR-Motor. ZMK, 17:648-654.
68. Huhn C. 2004. Erfolgreiche Endodontie: Endometrische Messung. Dentalmagazin, 4:50-54.
69. Hülsmann M. 1992. Das Canal-Finder-System – Wissenschaftliche Erkenntnisse und klinische Erfahrungen. Endodontie, 1:45-56.
70. Hülsmann M. 1996. Die Geschichte der Wurzelkanalaufbereitung. Endodontie, 5:97-112.
71. Hülsmann M. 1997. Die Wurzelkanalspülung – Ziele, Mittel und Techniken. Endodontie, 1:47-62.
72. Hülsmann M. 1999. Ultraschall in der Endodontie. Zahnarzt Wirtschaft Praxis, 5:115-120.

73. Hülsmann M. 2001. Die Aufbereitung des Wurzelkanals. In: Heidemann D, Hrsg. Praxis der Zahnheilkunde: Endodontie. Vierte Aufl. München, Jena: Urban & Fischer-Verlag, 80-122.
74. Hülsmann M. 2002. Die maschinelle Wurzelkanalaufbereitung mit Nickel-Titan-Instrumenten – eine vorläufige Bilanz. In: Hülsmann M, Hrsg. Wurzelkanalaufbereitung mit Nickel-Titan-Instrumenten. Ein Handbuch. Berlin: Quintessenz-Verlag, 11-34.
75. Hülsmann M. 2004a. Erfolgreiche Endodontie: Forschungsprojekte in der Endodontie. Dentalmagazin, 4:44-49.
76. Hülsmann M. 2004b. MTAD – ein neues Spülmedium zur Wurzelkanal desinfektion? Endodontie, 3:265-270.
77. Hülsmann M. 2006. Die Desinfektion des endodontischen Systems. Endodontie, 2:147-168.
78. Hülsmann M, Bertzbach F. 1989. Die Aufbereitung gekrümmter Wurzelkanäle mit Handinstrumenten und maschinellen Aufbereitungshilfen. Dtsch Zahnärztl Z, 44:448-451.
79. Hülsmann M, Schade M. 2000. Die Wurzelkanalaufbereitung mit dem maschinellen Nickel-Titan-System Hero 642. Endodontie, 3:181-193.
80. Hülsmann M, Versümer J. 1999. Die maschinelle Wurzelkanalaufbereitung mit Nickel-Titan-Instrumenten – Eine Übersicht. In: Deutscher Zahnärztekalendar. München: Hanser-Verlag, 165-188.
81. Hülsmann M, Rummelin C, Schäfers F. 1997. Root canal cleanliness after preparation with different endodontic handpieces and hand instruments: a comparative SEM investigation. J Endod, 23:301-306.
82. Hülsmann M, Heckendorff M, Schäfers F. 2002. Comparative evaluation of three chelator pastes. Int Endod J, 35:668-679.
83. Huth KC, Hickel R. 2004. Ozone: the revolution in dentistry. In: Lynch E, ed. 1<sup>st</sup> ed. London: Quintessence Publishing Co. Ltd., 117-124.
84. Ingle JJ. 1955. The need for endodontic instrument standardization. Oral Surg Oral Med Oral Pathol, 8:1211-1213.
85. Ingle JJ. 1961. A standardized endodontic technique utilizing newly designed instruments and filling materials. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod, 14:83-91.
86. Jungmann CL, Uchin RA, Bucher JF. 1975. Effect of instrumentation on the shape of

- the root canal. J Endod, 1:66-69.
87. Kiene JC, Beer R, Gängler P. 2004. Oberflächenmorphologie der Wurzelkanalwand nach maschineller Aufbereitung gekrümmter Wurzelkanäle mit verschiedenen NiTi-Systemen – Eine REM-Studie. Endodontie, 2:121-130.
  88. Kipshagen E. 1984. Die Wurzelkanalwand nach Bearbeitung mit verschiedenen Instrumenten. Dtsch Zahnärztl Z, 39:287-290.
  89. Koçkapan C. 1995. Die Bedeutung der Schmierschicht bei der Wurzelkanalbehandlung – Eine Übersicht. Endodontie, 1:33-48.
  90. Koçkapan C. 2003. Curriculum Endodontie. Erste Aufl. Berlin: Quintessenz-Verlags-GmbH.
  91. Köhrer W, Köhrer PC. 2005. Innovatives Wurzelkanalspülhandstück im Praxiseinsatz. ZMK, 21:790-791.
  92. Konopelski JW, Kröncke A. 1979. Die Wurzelkanalwand nach Bearbeitung mit verschiedenen Instrumenten. Dtsch Zahnärztl Z, 34:157-159.
  93. Konopelski JW. 1980. Über Form und Struktur der Wurzelkanalwand nach instrumenteller Aufbereitung [Med Diss]. Erlangen–Nürnberg.
  94. Kröncke A. 1975. Die Wurzelkanalwand nach der mechanischen Aufbereitung. Dtsch Zahnärztl Z, 30:321-322.
  95. Kuttler Y. 1955. Microscopic investigation of root apexes. J Am dent Assoc, 50:544-552.
  96. Laurisch L. 2003. Das HealOzone-Gerät. ZWR, 112:338-343.
  97. Lieder S. 2001. Zur Effektivität der manuellen Aufbereitung gekrümmter Wurzelkanäle mit flexiblen Instrumenten – Eine In – Vitro Studie [Med Diss]. Jena.
  98. Lim SS, Stock CJ. 1987. The risk of perforation in the curved canal, anticurvature filing compared with the step back technique. Int Endod J, 20:33-39.
  99. Linden N. 2002a. Bronze, Silber, Gold. Dentalzeitung, 4:12-14.
  100. Linden N. 2002b. Spülen, Spülen, Spülen. Dentalzeitung, 4:40.
  101. Lohmann D. 2002. Untersuchungen zur Effizienz des maschinellen Wurzelkanalaufbereitungssystem FlexMaster auf der Basis permanent rotierend angetriebener Nickel-Titan-Instrumente [Med Diss]. Münster.

102. Lussi A, Nussbächer U, Grosrey J. 1993. A novel noninstrumented technique for cleansing the root canal system. *J Endod*, 19:549-553.
103. Lussi A, Suter B, Grosrey J. 1996. In-vivo-Oturation von Wurzelkanälen mit der neuen Vakuumtechnik. *Endodontie*, 3:189-194.
104. Lussi A. 2004. Ozone: the revolution in dentistry. In: Lynch E, ed. 1<sup>st</sup> ed. London: Quintessence Publishing Co. Ltd., 49-56.
105. Martin H, Cunningham WT. 1985. Endosonics – the ultrasonic synergistic system of endodontics. *Endod Dent Traumatol*, 1:201-206.
106. Martin G, Blašković - Šubat V. 1997. Preparation of simulated root canals using the Macfile, Canal Master U and K-Flexofile. *Int Endod J*, 30:160-166.
107. Martin M, Huber A, Brunert M, Braun A, Frentzen M. 2003. Drehmomentbegrenztes Winkelstück für Nickel-Titan-Instrumente zur Wurzelkanalaufbereitung. *Quintessenz*, 11:1235-1241.
108. McKendry DJ. 1990. Comparison of balanced-forces, endosonic and step-back filing instrumentation techniques: Quantification of extruded apical debris. *J Endod*, 16:24-27.
109. Meister K, Hülsmann M. 2004. Die maschinelle Wurzelkanalaufbereitung mit dem ENDOflash-Winkelstück. I. In-vitro-Vergleich unterschiedlicher Aufbereitungstechniken. *Dtsch Zahnärztl Z*, 59:381-386.
110. Mehl A, Folwaczny M, Hickel R. 1999. Laserbehandlung in der Endodontie. *ZWR*, 108:18-24.
111. Meyer W. 1960. Die anatomischen Grundlagen der Wurzelkanalbehandlung. *Dtsch Zahnärztl Z*, 15:777-786.
112. Meyer W, Scheele E. 1955. Die Anatomie der Wurzelkanäle der oberen Frontzähne. *Dtsch Zahnärztl Z*, 10:1041-1045.
113. Meyer G, Hülsmann M. 1991. Die Aufbereitung des Wurzelkanals. *Zahnärztl Mitt*, 81:864-870.
114. Morgan LF, Montgomery S. 1984. An evaluation of the crown-down pressureless technique. *J Endod*, 10:491-498.
115. Muselmani B, Kneist S, Glockmann E. 2005. Antimicrobial effectiveness of hydrodynamic and conventional rinsing in root canal [Abstract]. Amsterdam: The Joint Meeting of the Continental European (CED) and Scandinavian (NOF) Divisions of the International Association of Dental Research (IADR).

116. Muselmani B, Kneist S, Glockmann E. 2005. REM – Untersuchung zur Reinigungswirkung von RinsEndo – eine In-vitro-(Pilot) Studie [Abstract]. Berlin: Gemeinsame Tagung der wissenschaftlichen Gesellschaften der ZMK/Deutscher Zahnärztag.
117. Muselmani B, Kneist S, Glockmann E. 2006. Vergleich der antimikrobiellen Wirkung hydrodynamischer und konventioneller Wurzelkanalspülung – Eine In-vitro-Studie. [Abstract]. Mainz: 38. Jahrestagung der Arbeitsgemeinschaft für Grundlagenforschung.
118. Muselmani B, Kneist S, Glockmann E. 2006. Untersuchungen zur Effizienz der hydrodynamischen Wurzelkanalspülung mit RinsEndo® - Eine In-vitro-Studie. [Abstract] Mainz: 20. Jahrestagung derDGZ.
119. Nolden R. 1994. Zahnerhaltungskunde. Sechste Aufl. Stuttgart, New York: Georg-Thieme-Verlag.
120. Ørstavik D. 2003. Die Wurzelkanalinfektion – Eine Übersicht über Auffassungen und jüngste Entwicklungen. Endodontie, 4:343-352.
121. Paqué F, Barbakow F, Peters OA. 2005. Root canal preparation with Endo-Eze AET: changes in root canal shape assessed by microcomputed tomography. Int Endod J, 38:456-464.
122. Pecchioni A. 1982. Aufbereitung und Präparation des apikalen Kanaldrittels. Quintessenz, 5:953-961.
123. Peters O, Eggert C, Barbakow F. 1997a. Aufbereitung gekrümmter Wurzelkanäle unter Anwendung der Lightspeed-Methode. Teil 1: Grundlagen. Endodontie, 4:267-272.
124. Peters O, Eggert C, Barbakow F. 1997b. Wurzelkanaloberflächen nach Lightspeed – Präparation im REM dargestellt – eine Pilotstudie. Endodontie, 3:225-231.
125. Peters OA, Boessler C, Zehnder M. 2005. Effect of liquid and paste-type lubricants on torque values during simulated rotary root canal instrumentation. Int Endod J, 38:223-229.
126. Petschelt A, Dobler J. 1991. Großvolumige versus aktivierte Wurzelkanalspülung. Dtsch Zahnärztl Z, 46:285-287.
127. Petschelt A, Oberschachtsiek H. 1985a. Eine verbesserte Methode zur Herstellung von Zahnwurzelpräparaten für REM-Untersuchungen. Dtsch Zahnärztl Z, 40:344-346.
128. Petschelt A, Oberschachtsiek H. 1985b. Über die Schmierschicht („smear – layer“) nach der Wurzelkanalbehandlung (REM-Untersuchung). Dtsch Zahnärztl Z, 40:845-849.



129. Petschelt A, Dobler J. 1991. Großvolumige versus aktivierte Wurzelkanalspülung. Dtsch Zahnärztl Z, 46:285-287.
130. Pineda F, Kuttler Y. 1972. Mesiodistal and buccolingual roentgenographic investigation of 7,275 root canals. Oral Surg, 33:101-110.
131. Preiswerk G. 1901. Die Pulpa-Amputation, eine klinische, pathohistologische und bakteriologische Studie. Öst Ung Vjschr Zahnheilk, 17:145-220.
132. Ram Z. 1977. Effectiveness of root canal irrigation. Oral Surg Oral Med Oral Pathol, 44:306-312.
133. Reddy SA, Hicks ML. 1998. Apical extrusion of debris using two hand and two rotary instrumentation techniques. J Endod, 24:180-183.
134. Reuver H. 2005. Nicht erfasste und nicht erschließbare endodontische Hohlräume. Teil 1: Ursachen der Nichterschließbarkeit. Endodontie, 14:25-38.
135. Reuver H. 2005. Nicht erfasste und nicht erschließbare endodontische Hohlräume. Teil 2: Topografie im Hinblick auf die Beeinflussung des Behandlungsergebnisses. Endodontie, 14:257-268.
136. Reuver H. 2005. Nicht erfasste und nicht erschließbare endodontische Hohlräume. Teil 3: Mögliche Folgen für das Behandlungsergebnis und Wege zu einer vollständigen Erschließung. Endodontie, 14:345-361.
137. Roane JB, Sabala CL, Duncanson MG. 1985. The „balanced force“ concept for instrumentation of curved canals. J Endod, 11:203-211.
138. Rödiger T, Jodway B, Hülsmann M. 2005. Vergleich der maschinellen WKA mit K3- und NiTi-TEE-Instrumenten [Abstract]. Berlin: Gemeinsame Tagung der wissenschaftlichen Gesellschaften der ZMK/Deutscher Zahnärztag.
139. Rottwinkel Y. 2000. Die maschinelle Wurzelkanalpräparation mit Nickel-Titan-Instrumenten in zwei unterschiedlichen Instrumentenkombinationen [Diss Med]. Göttingen.
140. Sabins RA, Johnson JD, Hellstein JW. 2003. A comparison of the cleaning efficacy of short term sonic and ultrasonic activation after hand instrumentation in molar root canals. J Endod, 29:674-678.
141. Saleh AA, Ettman WM. 1999. Effect of endodontic solutions on microhardness of root canal dentine. J Dent, 27:43-44.
142. Saunders WP, Saunders EM. 1994. Comparison of three instruments in the preparation of the curved root canal using the modified Double-Flared Technique. J Endod, 20:440-444.

143. Schädle CW, Velvart P, Lutz F. 1990. Die Reinigungswirkung verschiedener Wurzelkanalinstrumente. Eine semiquantitative Vergleichsstudie. Schweiz Monatsschr Zahnmed, 100:274-285.
144. Schäfer E. 1994. Vergleich verschiedener Techniken zur Aufbereitung gekrümmter Wurzelkanäle. Dtsch Zahnärztl Z, 49:947-951.
145. Schäfer E. 1995a. Das Instrumentarium zur manuellen Wurzelkanalaufbereitung. Teil 1: Wurzelkanalinstrumente aus Edelstahllegierungen. Endodontie, 3:205-221.
146. Schäfer E. 1995b. Das Instrumentarium zur manuellen Wurzelkanalaufbereitung. Teil 2: Wurzelkanalinstrumente aus Titanlegierungen. Endodontie, 4:305-312.
147. Schäfer E. 1996a. Das Instrumentarium zur manuellen Wurzelkanalaufbereitung. Teil 3: Spezielle Wurzelkanalinstrumente. Endodontie, 1:39-49.
148. Schäfer E. 1996b. Effects of four instrumentation techniques on curved canals: A comparison study. J Endod, 22:685-689.
149. Schäfer E. 1997. Root canal instruments for manual use: a review. Endod Dent Traumatol, 13:51-64.
150. Schäfer E. 1998a. Über die Auswirkungen verschiedener Konstruktionsmerkmale auf die Eigenschaften von Wurzelkanalinstrumenten. Teil 1: Schneidleistung. Dtsch Zahnärztl Z, 53:187-192.
151. Schäfer E. 1998b. Über die Auswirkungen verschiedener Konstruktionsmerkmale auf die Eigenschaften von Wurzelkanalinstrumenten. Teil 2: Aufbereitung gekrümmter Kanäle. Dtsch Zahnärztl Z, 53:247-250.
152. Schäfer E. 1998c. Metallurgie und Eigenschaften von Nickel-Titan-Instrumenten. Endodontie, 4:323-335.
153. Schäfer E. 1999a. Relationship between design features of endodontic instruments and their properties. Part 1. Cutting efficiency. J Endod. 25:52-55.
154. Schäfer E. 1999b. Relationship between design features of endodontic instruments and their properties. Part 2. Instrumentation of curved canals. J Endod, 25:56-59.
155. Schäfer E. 2000. Wurzelkanalaufbereitungen. Dtsch Zahnärztl Z, 55:730-740.
156. Schäfer E. 2001. Struktur der Pulpa und ihre Erkrankungsformen. In: Heidemann D, Hrsg. Praxis der Zahnheilkunde: Endodontie. Vierte Aufl. München, Jena: Urban & Fischer-Verlag, 2-24.
157. Schäfer E, Lohmann D. (2002) Efficiency of rotary nickel-titanium FlexMaster

- instruments compared with stainless steel hand K-Flexofile. Part 2. Cleaning effectiveness and shaping ability in severely curved root canals of extracted teeth. *Int Endod J* 35:505-513.
158. Schäfer E, Schlingemann R. (2003) Efficiency of rotary nickel-titanium K3 instruments compared with stainless steel hand K-Flexofile. Part 2. Cleaning effectiveness and shaping ability in severely curved root canals of extracted teeth. *Int Endod J* 36:199-207.
  159. Schäfer E, Zapke K. 1999. Vergleichende elektronenmikroskopische Untersuchung manuell und maschinell aufbereiteter Wurzelkanäle. *Dtsch Zahnärztl Z*, 54:551-558.
  160. Schäfer E, Zapke K. 2000a. A comparative scanning electronic microscopic investigation of the efficacy of manual and automated instrumentation of root canals. *J Endod*, 26:660-664.
  161. Schäfer E, Zapke K. 2000b. Effizienz maschineller Wurzelkanalaufbereitungssysteme im Vergleich zur manuellen Instrumentierung. *Quintessenz*, 51:115-124.
  162. Schäfer E, Tepel J, Hoppe W. 1992. Die Schneidleistung von Wurzelkanal-instrumenten bei drehend-schabender Arbeitsweise. *Dtsch Zahnärztl Z*, 47:781-785.
  163. Schäfer E, Tepel J, Hoppe W. 1994a. Vergleichende Untersuchung von Wurzelkanalinstrumenten aus herkömmlichen Stahl und Nickel-Titan-Legierungen. *Endodontie*, 3:185-197.
  164. Schäfer E, Tepel J, Hoppe W. 1994b. Experimentelle Untersuchungen zur Aufbereitung gekrümmter Wurzelkanäle mit neuartigen Wurzelkanal-instrumenten. *Dtsch Zahnärztl Z*, 49:311-315.
  165. Schilder H. 1974. Cleaning and shaping the root canal. *Dent Clin North Am*, 18:269-296.
  166. Schroeder HE. 1991. Die Auswirkungen der Furkationsmorphologie auf den Parodontitisbefall. *Dtsch Zahnärztl Z*, 46:324.
  167. Schwarze T. 1998. Das maschinelle Wurzelkanalaufbereitungssystem „Excalibur“ – eine Übersicht. *Endodontie*, 2:127-137.
  168. Schwarze T, Geurtsen W. 1996. Vergleichende rasterelektronenmikroskopische qualitative Untersuchung maschinell und manuell aufbereiteter Wurzelkanäle. *Dtsch Zahnärztl Z*, 51:227-230.
  169. Seltzer S, Naidorf IJ. 1985. Flare-ups in endodontics: I. Etiological factors. *J Endod*, 11:472-478.
  170. Sirtes G, Waltimo T, Schaetzle M, Zehnder M. 2005. The effects of temperature on

- sodium hypochlorite short-term stability, pulp dissolution capacity, and antimicrobial efficacy. *J Endod*, 31:669-671.
171. Sonntag D, Stachniss V. 2002. Maschinelle Wurzelkanalaufbereitung mit dem FlexMaster®-System. *ZWR*, 7+8:391-399.
  172. Southard DW, Oswald RJ, Natkin E. 1987. Instrumentation of curved molar root canals with the Roane technique. *J Endod*, 13:479-489.
  173. Spoleti P, Siragusa M, Spoleti M. 2003. Bacteriological evaluation of passive ultrasonic activation. *J Endod*, 29:12-14.
  174. Städtler P, Jeglitsch M. 1993. Elastizität und Maßtreue endodontischer Aufbereitungssysteme. *Endodontie*, 1:25-31.
  175. Steier L, Rimoldi F, Beer R. 2005. Antibakterielle Wirkung von Ozon. *Dental-Praxis*, XXII:271-276.
  176. Steier L, Beer R. 2006a. Die rotierende Wurzelkanalaufbereitung. *Dentalzeitung*, 3:12-16.
  177. Steier L, Beer R. 2006b. Die mechanische Wurzelkanalaufbereitung mit rotierenden Nickel-Titan-Feilen. *Endodontie Journal*, 4:6-11.
  178. Stellungnahme der DGZMK und AfG. 1994. Laseranwendung in der Zahnmedizin. *Dtsch Zahnärztl Z*, 6:431.
  179. Stellungnahme der DGZMK und DGZ. 2002. Maschinelle Wurzelkanalaufbereitung.
  180. Stellungnahme der DGZMK und DGZ. 2006. Maschinelle Wurzelkanalaufbereitung. *Endodontie*, 1:51-56.
  181. Stelzner R, Beer R, Gängler P. 2004. Bestimmung der Schneidleistung von K3-Feilen im Vergleich zu verschiedenen Nickel-Titan-Wurzelkanalinstrumenten. *Endodontie*, 13:47-56.
  182. Stewart GG. 1955. The importance of chemo-mechanical preparation of the root canal. *Oral Surg, Oral Med and Oral Pathol*, 28:993-997.
  183. Stock C. 1992. Derzeitiger Stand der Ultraschallanwendung in der Endodontie. *Endodontie*, 1:35-44.
  184. Suter B, Lussi A, Hotz P. 1986. Die Wurzelkanalaufbereitung mit Hilfe von schnellschwingenden Instrumenten. *Schweiz Monatsschr Zahnmed*, 96:919-934.
  185. Suter B. 1999. Die Wurzelkanalbehandlung mit GT Rotary Files. *Endodontie*, 3:247-257.
  186. Tepel J. 1998. Experimentelle Untersuchungen zur maschinellen Wurzelkanalaufbereitung. *Dtsch Zahnärztl Z*, 53:101-114.

187. Tepel J. 2000. Experimentelle Untersuchungen zur maschinellen Wurzelkanal-aufbereitung [Med Habil]. Erste Aufl. Berlin: Quintessenz-Verlags-GmbH.
188. Tepel J, Schäfer E. 1996. Schneidleistungen von Hedström-Feilen sowie S- und U-Feilen aus unterschiedlichen Legierungen bei feilender Arbeitsweise. *Endodontie*, 3:219-226.
189. Tepel J, Schäfer E, Hoppe W. 1993. Kunststoffe als Modellmaterialien in der Endodontie. *Dtsch Zahnärztl Z*, 48:736-738.
190. Thompson SA, Dummer PMH. 1997a. Shaping ability of ProFile.04 Taper Series 29 rotary Nickel-Titanium instruments in simulated root canals. Part 1. *Int Endod J*, 30:1-7.
191. Thompson SA, Dummer PMH. 1997b. Shaping ability of ProFile.04 Taper Series 29 rotary Nickel-Titanium instruments in simulated root canals. Part 2. *Int Endod J*, 30:8-15.
192. Thompson SA, Dummer PMH. 1997c. Shaping ability of NT engine and McXim rotary Nickel-Titanium instruments in simulated root canals. Part 1. *Int Endod J*, 30:262-269.
193. Thompson SA, Dummer PMH. 1997d. Shaping ability of Lightspeed rotary Nickel-Titanium instruments in simulated root canals. Part 1. *J Endod*, 23:698-702.
194. Thompson SA, Dummer PMH. 1997e. Shaping ability of Lightspeed rotary Nickel-Titanium instruments in simulated root canals. Part 2. *J Endod*, 23:742-747.
195. Trepagnier CM, Madden RM, Lazzari EP. 1977. Quantitative study of sodium hypochlorites as an in-vitro endodontic irrigant. *J Endod*, 3:194-196.
196. Tronstad L, Barnett F, Schwartzben L, Frasca L. 1985. Effectiveness and safety of a sonic vibratory endodontic instrument. *Endod Dent Traumatol*, 1:69-76.
197. Tronstad L, Niemczyk S. 1986. Efficacy and safety tests of six automated devices for root canal instrumentation. *Endod Dent Traumatol*, 2:270-276.
198. van der Sluis L. 2006. Passive Ultraschallspülung des Wurzelkanalsystems. *Endodontie*, 15:177-185.
199. Vessey RA. 1969. The effect of filing versus reaming on the shape of the prepared root canal. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, 27:543-547.
200. Vögele H. 2001. Endodontie-Praxis unabhängig von der Diagnose – Einfach und effizient. *Sonderdruck Dentalzeitung*, 2:75-76.
201. Vorwerk G. 1999. Wurzelkanalbehandlung mit rotierendem Instrumentarium. Ein

- systemisches Behandlungskonzept für die Praxis. Quintessenz, 50:875-889.
202. Voß A. 1995. Die Aufbereitung des gekrümmten Wurzelkanals. In: Deutscher Zahnärztekalendar. München, Wien: Hanser-Verlag, 87-114.
  203. Walia H, Brantley WA, Gerstein H. 1988. An initial investigation of the bending and torsional properties of Nitinol root canal files. J Endod, 14:346-351.
  204. Walsch H. 2004. The hybrid concept of nickel-titanium rotary instrumentation. Dent Clin North Am, 48:183-202.
  205. Weiger R, El Aloyouti A, Brückner M, Löst C. 2001. Preparation of curved root canals with rotary FlexMaster instruments [Abstract]. München: Biennial Congress of the European Society of Endodontology (ESE).
  206. Weine FS. 1989. Endodontic Therapy. 4<sup>th</sup> ed. St. Louis: C.V. Mosby Co.
  207. Weine FS, Healey H, Gerstein H, Evanson L. 1970. Pre-curved files and incremental instrumentation for root canal enlargement. J Can Dent Assoc, 36:155-157.
  208. Weine FS, Kelly RF, Lio PJ. 1975. The effect of preparation procedures on original canal shape and on apical foramen shape. J Endod, 1:255-262.
  209. Weine FS, Kelly RF, Bray KB. 1976. Effect of preparation with endodsonic handpieces on original canal shape. J Endod, 2:298-303.
  210. Wildey WL, Senia ES. 1989. A new root canal instrument and instrumentation technique: a preliminary report. Oral Surg Oral Med Oral Pathol, 67:198-207.
  211. Wu MK, Wesselink PR. 1995. Efficacy of three techniques in cleaning the apical portion of curved root canals. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod, 79:492-496.
  212. Yesilsoy C, Whitaker E, Cleveland D, Phillips E, Trope M. 1995. Antimicrobial and toxic effects of established and potential root canal irrigants. J Endod, 21:513-515.
  213. Zachearo Scelza MF, Teixeira AM, Scelza P. 2003. Decalcifying effect of EDTA-T, 10% citric acid, and 17% EDTA on root canal dentin. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Radiol Endod, 95:234-236.
  214. Zehnder M, Schicht O, Sener B, Schmidlin P. 2005. Reducing surface tension in endodontic chelator solutions has no effect on their ability to remove calcium from instrumented root canals. J Endod, 31:590-592.

## Firmeninformationen – Endomotoren

1. ATR Tecnika. 2000. ATR Italy, Dentsply Maillefer, CH- Ballaigues.
2. ATR Tecnika Vision. 2003. ATR Italy, Dentsply Maillefer, CH- Ballaigues.
3. E-Master<sup>™</sup>. 2003. VDW GmbH, D-München.
4. Endo IT control. 2002. VDW GmbH, D-München. Anwenderhandbuch.
5. Endo IT control. 2003. VDW GmbH, D-München.
6. Endo IT professional. 2003, 2004. VDW GmbH, D-München.
7. EndoStepper<sup>®</sup> 1. Ohne Jahresangabe. Phytron-Elektronik GmbH; Vertrieb: S.E.T. GmbH, D-Emmering. Anwenderhandbuch.
8. Ionyx ENDY 5000. 2002. Gerd Loser & Co GmbH, D-Leverkusen.
9. K3 etc. 2001. Kerr GmbH, D-Karlsruhe.
10. S.E.T.-EndoStepper<sup>®</sup>. Ohne Jahresangabe. S.E.T., D-Emmering.
11. S.E.T.-EndoStepper<sup>®</sup>. 2003. S.E.T. Vertrieb: Komet Easy-Line, Gebr. Brasseler GmbH & Co. KG, D-Lemgo.
12. SybronEndo ETCM. Ohne Jahresangabe. SybronEndo Europe, NL- AL Amersfoort. Produktkatalog, Volume 7.
13. TCM Endo. 2000. Nouvag<sup>®</sup> GmbH, D-Konstanz.
14. TCM Endo III. 2002. Nouvag<sup>®</sup> GmbH, D-Konstanz.
15. TCM Endo III. 2004. Nouvag<sup>®</sup> AG, CH-Goldach.
16. TCM Endo IV. 2002. Nouvag<sup>®</sup> GmbH, D-Konstanz.
17. TCM Endo IV. 2004. Nouvag<sup>®</sup> AG, CH-Goldach.
18. TCM Endo V. 2004. Nouvag<sup>®</sup> AG, CH-Goldach.
19. VDW Endo Stepper<sup>®</sup>. 2000. VDW GmbH, D-München.
20. X-Smart. 2004. Dentsply Maillefer, CH-Ballaigues.

## Firmeninformationen – Instrumente

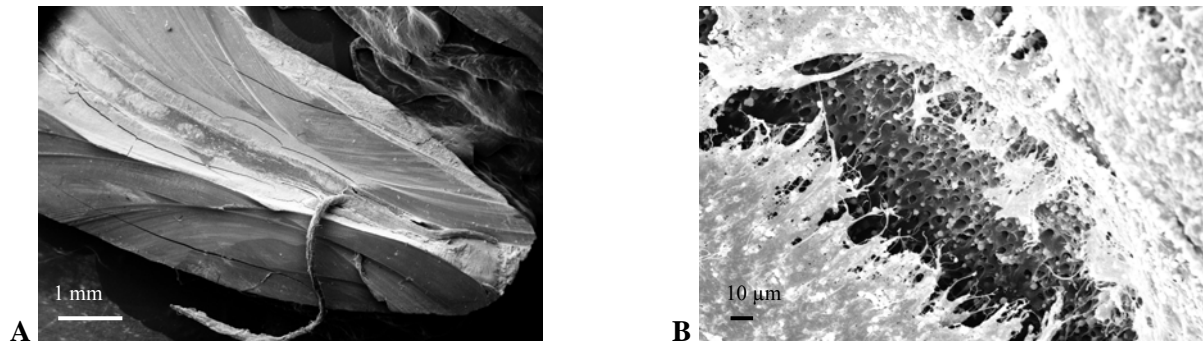
1. Alpha. 2004. Komet Gebr. Brasseler GmbH & Co. KG, D-Lemgo. Gebrauchsanweisung.
2. Endo-Eze<sup>®</sup> System<sub>AET</sub>. 2001. Ultradent Products Inc., USA, Vertrieb: Dental Liga, D-Köln. Firmeninformation.
3. EndoWave. 2006. J. Morita Europe GmbH, D-Dietzenbach. Firmeninformation.
4. FlexMaster<sup>®</sup>. 2000, 2003, 2004. VDW GmbH, D-München. Firmeninformation.
5. Hero 642<sup>®</sup>. Ohne Jahresangabe. Micro-Mega AG, D-Oberursel. Firmeninformation.
6. K3<sup>™</sup> NiTi Feilen. Ohne Jahresangabe. SybronEndo Europe, NL-AL Amersfoort. Produktkatalog, Volume 7.
7. LightSpeed<sup>®</sup>-System. 2006. Max-Dental, D-Augsburg. Firmeninformation.
8. MITY ROTO-FILE. 1999. JS Dental Manufacturing, Inc., Vertrieb: Gerd Loser & Co GmbH, D-Leverkusen. Firmeninformation.
9. Mfile-System. 2003. Komet Gebr. Brasseler. GmbH & Co. KG, D-Lemgo. Firmeninformation.
10. Mtwo. 2005. VDW GmbH, D-München. Firmeninformation.
11. NiTi-TEE<sup>™</sup>. 2004. Sjöding Sendoline AB, SE-Kista. Vertrieb: Gerd Loser & Co GmbH, D-Leverkusen. Firmeninformation.
12. ProFile<sup>®</sup>. 1998. Dentsply Maillefer, CH-Ballaigues. Firmeninformation.
13. ProTaper<sup>™</sup>. 2001. Dentsply Maillefer, CH-Ballaigues. Firmeninformation.
14. QuantecLX. Ohne Jahresangabe. SybronEndo Europe, NL-AL Amersfoort. Produktkatalog, Volume 7.
15. QuantecSC. Ohne Jahresangabe. SybronEndo Europe, NL-AL Amersfoort. Produktkatalog, Volume 7.
16. SystemGT<sup>®</sup>. 2000. Dentsply Maillefer, CH-Ballaigues. Firmeninformation.
17. ZX-System. Ohne Jahresangabe. J. Morita Europe GmbH, D-Dietzenbach. Firmeninformation.
18. FKG RaCe<sup>®</sup>. Ohne Jahresangabe. FKG Dentaire, CH-La Chaux-de-Fonds, Vertrieb: Müller-Dental GmbH & Co, D-Köln. Firmeninformation.
19. ENDOflash-System. 1999. KaVo, D-Biberach. Gebrauchsanweisung/Firmeninformation.



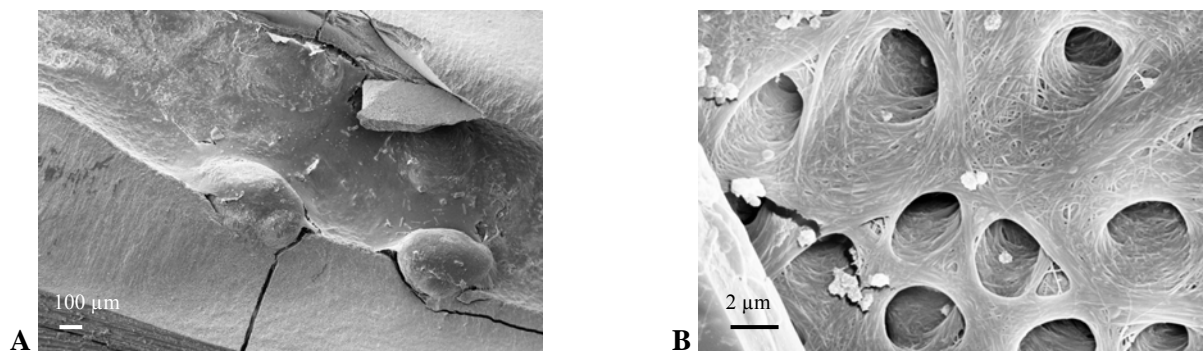
## Firmeninformation – Winkelstücke

1. Anthogyr NiTi-Control. 2001. Dentsply Maillefer, CH-Ballaigues. Firmeninformation.
2. Apex Locator EndoMaster. Ohne Jahresangabe. EMS Electro Medical, D-München. Firmeninformation.
3. DentaPort ZX. 2004. J. Morita Europe GmbH, D-Dietzenbach. Firmeninformation.
4. ENDOadvance. 2004. KaVo Dental GmbH, D-Biberach. Firmeninformation.
5. ENDOstraight. 2004. KaVo Dental GmbH, D-Biberach. Firmeninformation.
6. EndoTouch TC. Ohne Jahresangabe. SybronEndo Europe, NL-AL Amersfoort. Produktkatalog, Volume 7.
7. ENDY 5000. 2002. Gerd Loser & Co GmbH, D-Leverkusen. Firmeninformation.
8. KaVo ENDOflash LUX 3 Winkelstück 3640 L. 1999. KaVo Dental GmbH, D-Biberach. Anwenderhandbuch.
9. Tri Auto ZX. 2000. J. Morita, D-Frankfurt. Firmeninformation.

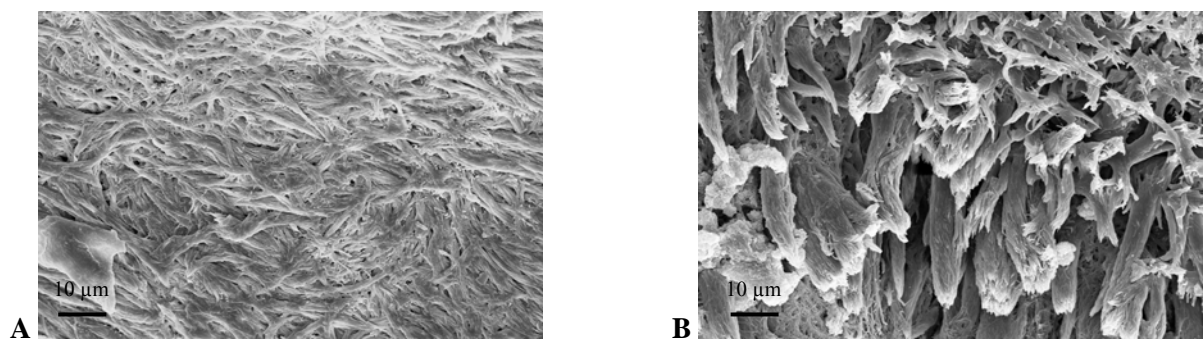
## **9     Anhang**



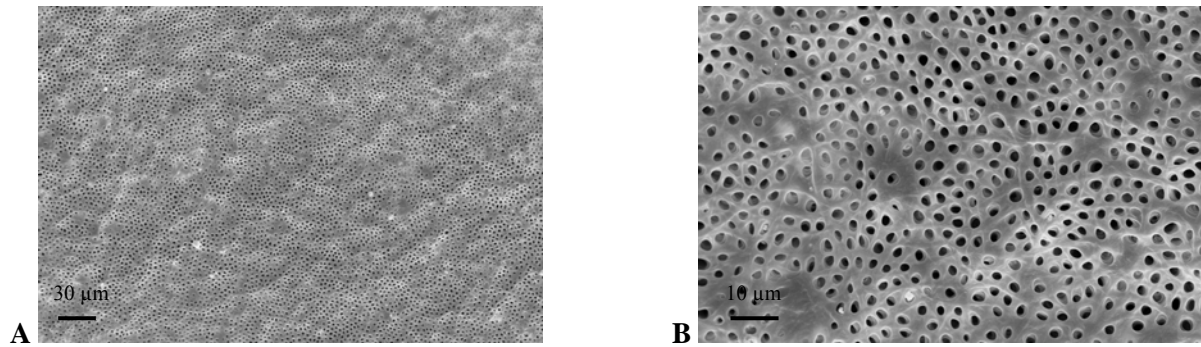
**Abbildung 1:** Unbehandelte Wurzelkanalhälfte: von der Kanalwand abgerissenes faserreiches Pulpagewebe (A), Eingänge der Dentinkanälchen sind sichtbar (B)



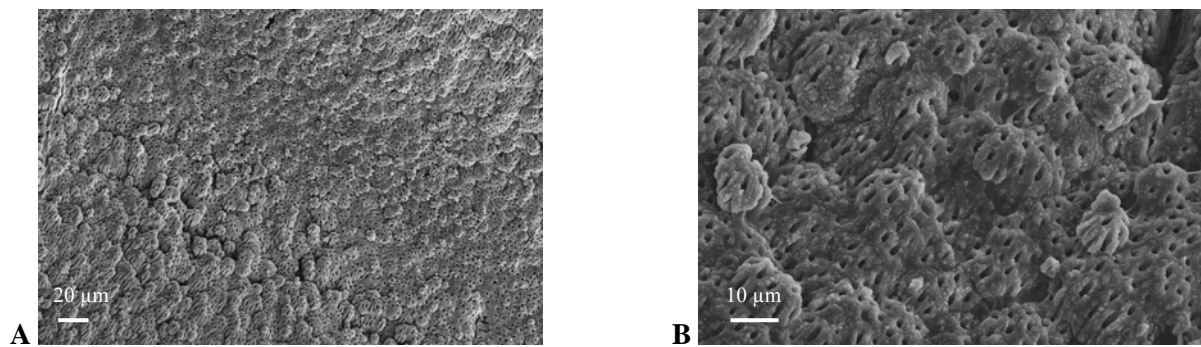
**Abbildung 2:** Experimentelle Exstirpation: adhärente Dentikel im koronalen  $\frac{1}{3}$  des Wurzelkanals (A), Prädentin mit Kollagenfibrillen im koronalen  $\frac{1}{3}$  des Wurzelkanals (B)



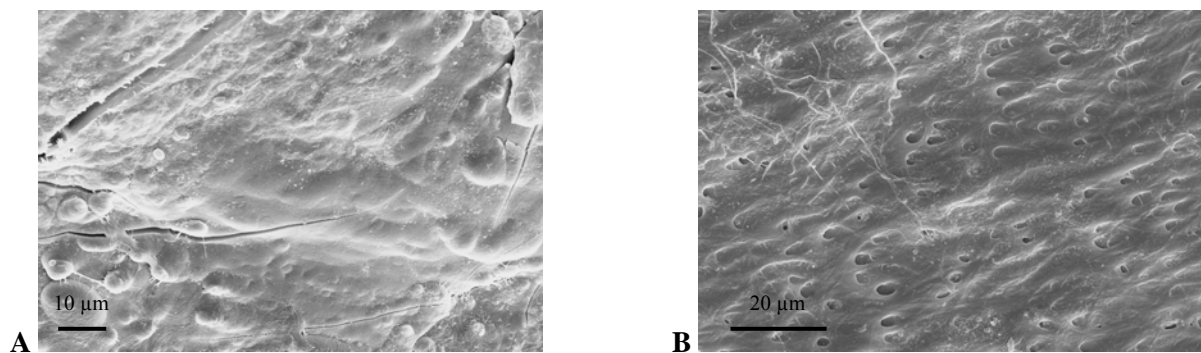
**Abbildung 3:** Pulpagewebe nach 3-minütiger Einwirkung von 5,25%igem Natriumhypochlorit (A, B)



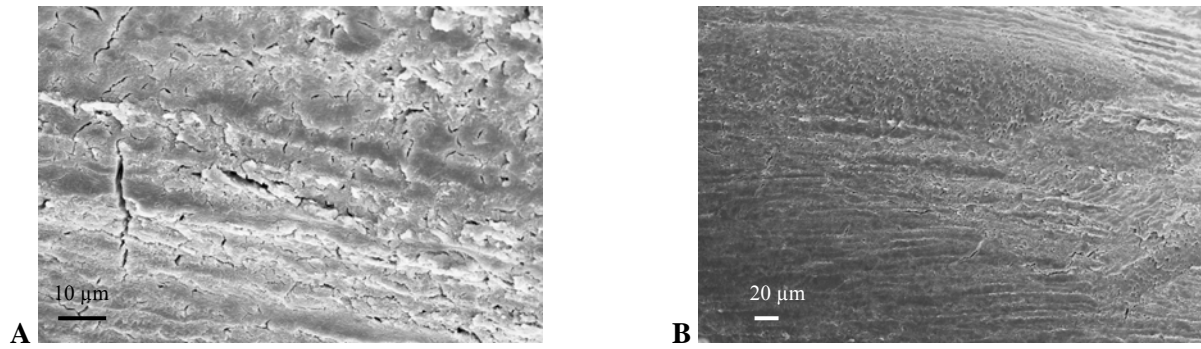
**Abbildung 4:** Nach 3 minütiger Einwirkung von 5,25%igem Natriumhypochlorit optimal gereinigte Kanalwand mit regelmäßig verteilten Dentinkanälcheneingängen im koronalen Drittel (A, B)



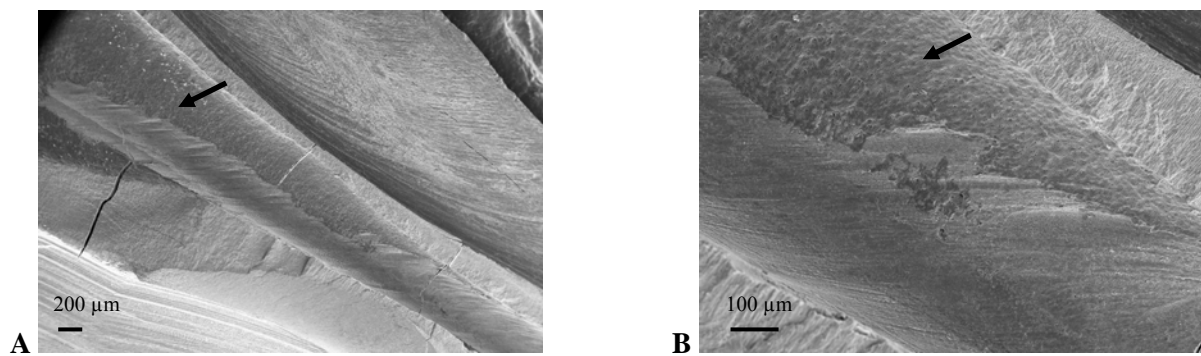
**Abbildung 5:** Oberflächenstruktur (Kalkosphäriten) nach 10 minütiger Einwirkung von 5,25%igem Natriumhypochlorit im mittleren (A) und apikalen (B) Wurzelkanaldrittel



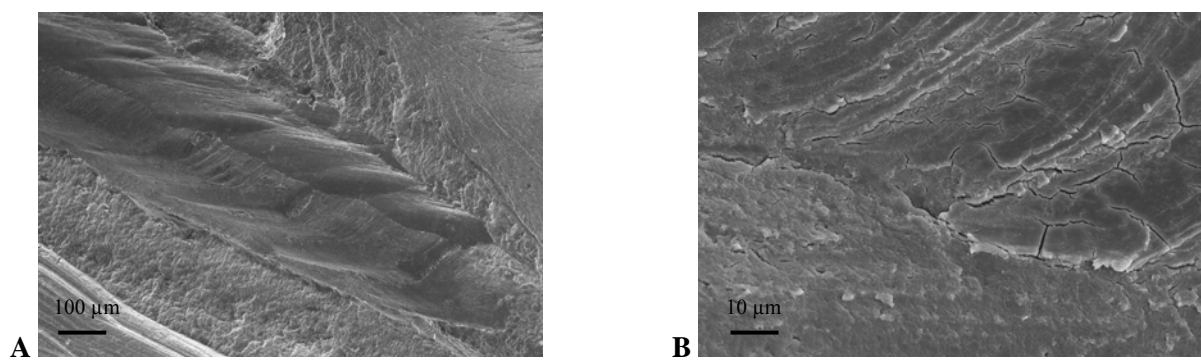
**Abbildung 6:** Wurzelkanaloberfläche nach 120 Sekunden (A) und 5 Minuten (B) Einwirkzeit von 20%iger Ethyldiamintetraessigsäure



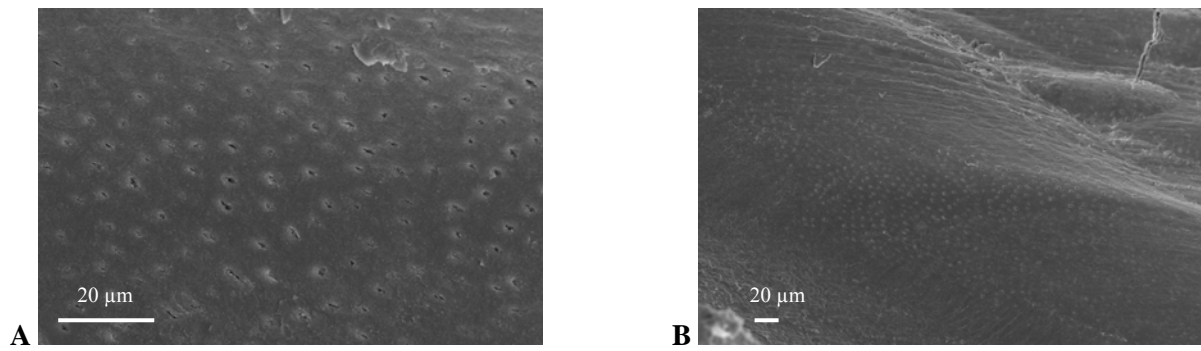
**Abbildung 7:** Kanalwand mit dicker inhomogener Schmierschicht nach 30 Sekunden Ultraschallanwendung (A, B)



**Abbildung 8:** Aufbereitungsspuren nach 30 Sekunden Ultraschallanwendung sowie unbearbeitete koronale Kanalwandbereiche (Pfeil, A, B)



**Abbildung 9:** Aufbereitungsspuren und dicke Schmierschicht im apikalen Kanaldrittel nach 60 Sekunden Ultraschallanwendung (A, B)



**Abbildung 10:** Gleichmäßige Schmierschicht im mittleren Kanaldrittel nach 60 Sekunden Ultraschallanwendung (A, B)

**Tabelle 1:** Gruppenbezogene (Gruppe 1 bis 4) Medianwerte von Debris, Oberflächenbeschaffenheit, Schmierschicht und *Foramen apicale* in den drei Wurzelkanalabschnitten (Koronal – Mitte – Apikal)

Gruppen/ Kanalab- schnitte	Median Debris	Oberflächen- beschaffenheit	Schmier- schicht	Foramen apicale
<b>Gruppe 1</b>				1
<i>Innen</i>				
Koronal	0	1	1	
Mitte	0	2	1	
Apikal	1	1	2	
<i>Außen</i>				
Koronal	0	1	1	
Mitte	0	1	1	
Apikal	1	2	1	
<b>Gesamt</b>	<b>2</b>	<b>8</b>	<b>7</b>	<b>1</b>
<b>Gruppe 2</b>				1
<i>Innen</i>				
Koronal	0	1	0	
Mitte	0	1	1	
Apikal	1	1	2	
<i>Außen</i>				
Koronal	0	1	1	
Mitte	1	1	1	
Apikal	1	2	1	
<b>Gesamt</b>	<b>3</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>1</b>
<b>Gruppe 3</b>				0
<i>Innen</i>				
Koronal	1	1	1	
Mitte	0	1	2	
Apikal	0	1	3	
<i>Außen</i>				
Koronal	1	1	2	
Mitte	1	1	2	
Apikal	1	2	3	
<b>Gesamt</b>	<b>4</b>	<b>7</b>	<b>13</b>	<b>0</b>
<b>Gruppe 4</b>				0
<i>Innen</i>				
Koronal	0	1	1	
Mitte	0	1	1	
Apikal	1	1	1	
<i>Außen</i>				
Koronal	0	1	1	
Mitte	0	1	1	
Apikal	1	2	1	
<b>Gesamt</b>	<b>2</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>0</b>

Fortsetzung siehe nächste Seite

**Tabelle 1 Fortsetzung:** Gruppenbezogene (Gruppe 5 bis 8) Medianwerte von Debris, Oberflächenbeschaffenheit, Schmier-schicht und *Foramen apicale* in den drei Wurzelkanalabschnitten (Koronal – Mitte – Apikal)

Gruppen/ Kanalab- schnitte	Median Debris	Oberflächen- beschaffenheit	Schmier- schicht	Foramen apicale
<b>Gruppe 5</b>				1
<i>Innen</i>				
Koronal	1	1	1	
Mitte	1	1	1	
Apikal	1	2	2	
<i>Außen</i>				
Koronal	1	1	1	
Mitte	1	1	1	
Apikal	1	2	2	
<b>Gesamt</b>	<b>6</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>1</b>
<b>Gruppe 6</b>				0
<i>Innen</i>				
Koronal	1	1	2	
Mitte	0	1	2	
Apikal	1	2	2	
<i>Außen</i>				
Koronal	0	1	0	
Mitte	0	1	0	
Apikal	1	2	2	
<b>Gesamt</b>	<b>3</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>0</b>
<b>Gruppe 7</b>				1
<i>Innen</i>				
Koronal	1	1	2	
Mitte	1	1	2	
Apikal	1	2	2	
<i>Außen</i>				
Koronal	1	1	1	
Mitte	0	1	2	
Apikal	1	2	2	
<b>Gesamt</b>	<b>5</b>	<b>8</b>	<b>11</b>	<b>1</b>
<b>Gruppe 8</b>				1
<i>Innen</i>				
Koronal	2	1	2	
Mitte	1	1	2	
Apikal	1	1	2	
<i>Außen</i>				
Koronal	1	1	1	
Mitte	1	1	2	
Apikal	1	1	2	
<b>Gesamt</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>11</b>	<b>1</b>



**Tabelle 2:** Zur Debris ( $\bar{x} \pm SD$ ) der Wurzelkanäle – Kombination I\* (Manuell – Maschinell)

Gruppen	Wurzelkanal		Mitte		Apikal	
	Koronal Innen	Außen	Innen	Außen	Innen	Außen
<b>Gruppe 1</b> n = 10 Wurzelkanäle	0,4 ± 0,516	<b>0,2 ± 0,422 s</b>	0,2 ± 0,422	0,6 ± 0,516	1,1 ± 0,316	0,7 ± 0,483
<b>Gruppe 2</b> n = 30 Wurzelkanäle	0,8 ± 0,728	0,8 ± 0,626	0,5 ± 0,572	0,63 ± 0,490	<b>0,7 ± 0,606 s</b>	0,8 ± 0,648

\* **Gruppe 1:** Modifizierte „Balanced-force-Technik“, K-Flexoreamer und K-Flexofile, manuell, **Gruppe 2:** Modifizierte „Crown-down-Technik“, FlexMaster, Edelstahl-ENDOfash, Nickel-Titan-ENDOfash, K3 und „Step-back-Technik“, Edelstahl-ENDOfash, Nickel-Titan-ENDOfash, maschinell

**Tabelle 3:** Zur Oberflächenbeschaffenheit ( $\bar{x} \pm SD$ ) der Wurzelkanäle – Kombination I\* (Manuell – Maschinell)

Gruppen	Wurzelkanal		Mitte		Apikal	
	Koronal Innen	Außen	Innen	Außen	Innen	Außen
<b>Gruppe 1</b> n = 10 Wurzelkanäle	1,1 ± 0,316	1,3 ± 0,483	1,4 ± 0,516	1,2 ± 0,422	1,2 ± 0,422	2,2 ± 0,422
<b>Gruppe 2</b> n = 30 Wurzelkanäle	1,1 ± 0,346	1,1 ± 0,254	1,1 ± 0,346	1,2 ± 0,379	1,5 ± 0,507	<b>1,7 ± 0,450 s</b>

\* **Gruppe 1:** Modifizierte „Balanced-force-Technik“, K-Flexoreamer und K-Flexofile, manuell, **Gruppe 2:** Modifizierte „Crown-down-Technik“, FlexMaster, Edelstahl-ENDOfash, Nickel-Titan-ENDOfash, K3 und „Step-back-Technik“, Edelstahl-ENDOfash, Nickel-Titan-ENDOfash, maschinell

**Tabelle 4:** Zur Schmierschicht ( $\bar{x} \pm SD$ ) der Wurzelkanäle – Kombination I\* (Manuell – Maschinell)

Gruppen	Wurzelkanal		Mitte		Apikal	
	Koronal Innen	Außen	Innen	Außen	Innen	Außen
<b>Gruppe 1</b> n = 10 Wurzelkanäle	0,8 ± 0,632	0,9 ± 0,316	1,4 ± 0,516	<b>0,6 ± 0,516 s</b>	2,0 ± 0,816	<b>1,4 ± 0,516 s</b>
<b>Gruppe 2</b> n = 30 Wurzelkanäle	<b>0,2 ± 0,699 s</b>	0,9 ± 0,662	1,6 ± 0,814	1,3 ± 0,750	2,0 ± 0,718	2,0 ± 0,669

\* **Gruppe 1:** Modifizierte „Balanced-force-Technik“, K-Flexoreamer und K-Flexofile, manuell, **Gruppe 2:** Modifizierte „Crown-down-Technik“, FlexMaster, Edelstahl-ENDOfash, Nickel-Titan-ENDOfash, K3 und „Step-back-Technik“, Edelstahl-ENDOfash, Nickel-Titan-ENDOfash, maschinell

**Tabelle 5:** Zum *Foramen apicale* (  $\bar{x} \pm SD$ ) der Wurzelkanäle – Kombination I\* (Manuell – Maschinell)

Gruppen	Foramen apicale
<b>Gruppe 1</b> n = 10 Wurzelkanäle	1,2 $\pm$ 0,632
<b>Gruppe 2</b> n = 30 Wurzelkanäle	<b>0,6 <math>\pm</math> 0,504 s</b>

\* **Gruppe 1:** Modifizierte „*Balanced-force-Technik*“, *K-Flexoreamer* und *K-Flexofile*, manuell, **Gruppe 2:** Modifizierte „*Crown-down-Technik*“, *FlexMaster*, *Edelstahl-ENDOfash*, *Nickel-Titan-ENDOfash*, *K3* und „*Step-back-Technik*“, *Edelstahl-ENDOfash*, *Nickel-Titan-ENDOfash*, maschinell

Tabelle 6: **Zur Debris (  $\bar{x} \pm SD$ ) der Wurzelkanäle – Kombination II\* (Edelstahl – Nickel-Titan)**

Gruppen	Wurzelkanal Koronal		Mitte		Apikal	
	Innen	Außen	Innen	Außen	Innen	Außen
<b>Gruppe 1</b> n = 20 Wurzelkanäle	0,5 ± 0,607	<b>0,3 ± 0,470 s</b>	0,4 ± 0,598	0,6 ± 0,489	1,1 ± 0,510	0,8 ± 0,550
<b>Gruppe 2</b> n = 20 Wurzelkanäle	0,8 ± 0,745	1,0 ± 0,605	0,4 ± 0,510	0,6 ± 0,503	<b>0,5 ± 0,513 s</b>	0,8 ± 0,671

\* **Gruppe 1:** Modifizierte „Balanced-force-Technik“ + K-Flexoreamer und K-Flexofile, „Step-back-Technik“, + Edelstahl-ENDOfash und Modifizierte „Crown-down-Technik“ + Edelstahl-ENDOfash gegenüber **Gruppe 2:** Modifizierte „Crown-down-Technik“ + FlexMaster, „Step-back-Technik“ + Nickel-Titan-ENDOfash, Modifizierte „Crown-down-Technik“ + Nickel-Titan-ENDOfash und Modifizierte „Crown-down-Technik“ + K3

**Tabelle 7:** Zur Oberflächenbeschaffenheit (  $\bar{x} \pm SD$ ) der Wurzelkanäle – Kombination II\* (Edelstahl – Nickel-Titan)

Gruppen	Wurzelkanal Koronal		Mitte		Apikal	
	Innen	Außen	Innen	Außen	Innen	Außen
<b>Gruppe 1</b> n = 20 Wurzelkanäle	1,1 $\pm$ 0,308	1,2 $\pm$ 0,366	1,3 $\pm$ 0,470	1,2 $\pm$ 0,366	1,4 $\pm$ 0,489	2,0 $\pm$ 0,394
<b>Gruppe 2</b> n = 20 Wurzelkanäle	0,8 $\pm$ 0,745	1,0 $\pm$ 0,605	0,4 $\pm$ 0,510	0,6 $\pm$ 0,503	0,5 $\pm$ 0,513	<b>0,8 <math>\pm</math> 0,671 s</b>

\* **Gruppe 1:** Modifizierte „Balanced-force-Technik“ + K-Flexoreamer und K-Flexofile, „Step-back-Technik“, + Edelstahl-ENDOfash und Modifizierte „Crown-down-Technik“ + Edelstahl-ENDOfash gegenüber **Gruppe 2:** Modifizierte „Crown-down-Technik“ + FlexMaster, „Step-back-Technik“ + Nickel-Titan-ENDOfash, Modifizierte „Crown-down-Technik“ + Nickel-Titan-ENDOfash und Modifizierte „Crown-down-Technik“ + K3

**Tabelle 8:** Zur Schmierschicht ( $\bar{x} \pm SD$ ) der Wurzelkanäle – Kombination II\* (Edelstahl – Nickel-Titan)

Gruppen	Wurzelkanal		Mitte		Apikal	
	Koronal Innen	Außen	Innen	Außen	Innen	Außen
<b>Gruppe 1</b> n = 20 Wurzelkanäle	<b>0,9 ± 0,553 s</b>	0,8 ± 0,366	<b>1,1 ± 0,553 s</b>	<b>0,8 ± 0,489 s</b>	<b>1,7 ± 0,733 s</b>	<b>1,5 ± 0,513 s</b>
<b>Gruppe 2</b> n = 20 Wurzelkanäle	1,6 ± 0,686	1,0 ± 0,759	2,0 ± 0,649	1,4 ± 0,883	2,2 ± 0,639	2,2 ± 0,639

\* **Gruppe 1:** Modifizierte „Balanced-force-Technik“ + *K-Flexoreamer* und *K-Flexofile*, „Step-back-Technik“, + Edelstahl-ENDOfash und Modifizierte „Crown-down-Technik“ + Edelstahl-ENDOfash gegenüber **Gruppe 2:** Modifizierte „Crown-down-Technik“ + *FlexMaster*, „Step-back-Technik“ + Nickel-Titan-ENDOfash, Modifizierte „Crown-down-Technik“ + Nickel-Titan-ENDOfash und Modifizierte „Crown-down-Technik“ + *K3*

**Tabelle 9:** Zum *Foramen apicale* (  $\bar{x} \pm SD$ ) der Wurzelkanäle – Kombination II\* (Edelstahl – Nickel-Titan)

Gruppen	Foramen apicale
<b>Gruppe 1</b> n = 20 Wurzelkanäle	0,8 ± 0,671
<b>Gruppe 2</b> n = 20 Wurzelkanäle	0,6 ± 0,503

\* **Gruppe 1:** *Modifizierte „Balanced-force-Technik“ + K-Flexoreamer und K-Flexofile, „Step-back-Technik“, + Edelstahl-ENDOfash und Modifizierte „Crown-down-Technik“ + Edelstahl-ENDOfash gegenüber Gruppe 2: Modifizierte „Crown-down-Technik“ + FlexMaster, „Step-back-Technik“ + Nickel-Titan-ENDOfash, Modifizierte „Crown-down-Technik“ + Nickel-Titan-ENDOfash und Modifizierte „Crown-down-Technik“ + K3*

Tabelle 10: **Zur Debris (  $\bar{x} \pm SD$ ) der Wurzelkanäle – Kombination III\* (Methodenvergleich)**

Gruppen	Wurzelkanal		Mitte		Apikal	
	Koronal Innen	Außen	Innen	Außen	Innen	Außen
<b>Gruppe 1</b> n = 10 Wurzelkanäle	0,4 ± 0,516	<b>0,2 ± 0,422 s</b>	0,2 ± 0,422	0,6 ± 0,516	1,1 ± 0,316	0,7 ± 0,483
<b>Gruppe 2</b> n = 20 Wurzelkanäle	1,0 ± 0,759	1,0 ± 0,510	0,6 ± 0,587	0,8 ± 0,444	<b>0,6 ± 0,671 s</b>	1,0 ± 0,686
<b>Gruppe 3</b> n = 10 Wurzelkanäle	0,4 ± 0,516	<b>0,4 ± 0,699 s</b>	0,2 ± 0,422	0,4 ± 0,516	0,7 ± 0,483	0,6 ± 0,516

\* **Gruppe 1:** Modifizierte „Balanced-force-Technik“, K-Flexoreamer und K-Flexofile, **Gruppe 2:** Modifizierte „Crown-down-Technik“, FlexMaster und Edelstahl-ENDOfash und Nickel-Titan-ENDOfash und K3, **Gruppe 3:** „Step-back-Technik“, Edelstahl-ENDOfash und Nickel-Titan-ENDOfash



Tabelle 11: Zur Oberflächenbeschaffenheit (  $\bar{x} \pm SD$ ) der Wurzelkanäle – Kombination III\* (Methodenvergleich)

Gruppen	Wurzelkanal Koronal		Mitte		Apikal	
	Innen	Außen	Innen	Außen	Innen	Außen
<b>Gruppe 1</b> n = 10 Wurzelkanäle	1,0 ± 0,316	1,3 ± 0,483	1,4 ± 0,516	1,2 ± 0,422	1,2 ± 0,422	2,2 ± 0,422
<b>Gruppe 2</b> n = 20 Wurzelkanäle	1,2 ± 0,366	1,0 ± 0,224	1,1 ± 0,308	1,2 ± 0,444	1,4 ± 0,510	<b>1,7 ± 0,470 s</b>
<b>Gruppe 3</b> n = 10 Wurzelkanäle	1,1 ± 0,316	1,1 ± 0,316	1,2 ± 0,422	1,0 ± 0	1,5 ± 0,527	1,8 ± 0,422

\* **Gruppe 1:** Modifizierte „Balanced-force-Technik“, K-Flexoreamer und K-Flexofile, **Gruppe 2:** Modifizierte „Crown-down-Technik“, FlexMaster und Edelstahl-ENDOfash und Nickel-Titan-ENDOfash und K3, **Gruppe 3:** „Step-back-Technik“, Edelstahl-ENDOfash und Nickel-Titan-ENDOfash

Tabelle 12: Zur Schmierschicht ( $\bar{x} \pm SD$ ) der Wurzelkanäle – Kombination III\* (Methodenvergleich)

Gruppen	Wurzelkanal		Mitte		Apikal	
	Koronal Innen	Außen	Innen	Außen	Innen	Außen
<b>Gruppe 1</b> n = 10 Wurzelkanäle	<b>0,8 ± 0,632 s</b>	0,9 ± 0,316	1,4 ± 0,516	<b>0,6 ± 0,516 s</b>	2,0 ± 0,816	<b>1,4 ± 0,516 s</b>
<b>Gruppe 2</b> n = 20 Wurzelkanäle	1,4 ± 0,686	1,2 ± 0,587	1,6 ± 0,671	1,6 ± 0,686	2,2 ± 0,616	2,3 ± 0,571
<b>Gruppe 3</b> n = 10 Wurzelkanäle	1,2 ± 0,632	<b>0,4 ± 0,516 s</b>	1,5 ± 1,08	<b>0,8 ± 0,632 s</b>	<b>1,5 ± 0,707 s</b>	<b>1,5 ± 0,527 s</b>

\* **Gruppe 1:** Modifizierte „Balanced-force-Technik“, K-Flexoreamer und K-Flexofile, **Gruppe 2:** Modifizierte „Crown-down-Technik“, FlexMaster und Edelstahl-ENDOfash und Nickel-Titan-ENDOfash und K3, **Gruppe 3:** „Step-back-Technik“, Edelstahl-ENDOfash und Nickel-Titan-ENDOfash

**Tabelle 13:** Zum *Foramen apicale* ( $\bar{x} \pm SD$ ) der Wurzelkanäle – Kombination III\* (Methodenvergleich)

Gruppen	Foramen apicale
<b>Gruppe 1</b> n = 10 Wurzelkanäle	1,2 $\pm$ 0,632
<b>Gruppe 2</b> n = 20 Wurzelkanäle	<b>0,6 <math>\pm</math> 0,489 s</b>
<b>Gruppe 3</b> n = 10 Wurzelkanäle	<b>0,4 <math>\pm</math> 0,516 s</b>

\* **Gruppe 1:** *Modifizierte „Balanced-force-Technik“, K-Flexoreamer und K-Flexofile*, **Gruppe 2:** *Modifizierte „Crown-down-Technik“, FlexMaster und Edelstahl-ENDOfash und Nickel-Titan-ENDOfash und K3*, **Gruppe 3:** *„Step-back-Technik“, Edelstahl-ENDOfash und Nickel-Titan-ENDOfash*

**Tabelle 14:** Zur Debris ( $\bar{x} \pm SD$ ) der Wurzelkanäle – Kombination IV\* (Methoden/Taper .02 – Methoden/Taper .02-.06)

Gruppen	Wurzelkanal		Mitte		Apikal	
	Koronal Innen	Außen	Innen	Außen	Innen	Außen
<b>Gruppe 1</b> n = 10 Wurzelkanäle	0,4 ± 0,516	<b>0,2 ± 0,422 s</b>	<b>0,2 ± 0,422 s</b>	0,6 ± 0,516	1,1 ± 0,316	0,7 ± 0,483
<b>Gruppe 2</b> n = 10 Wurzelkanäle	1,1 ± 0,876	1,1 ± 0,568	0,4 ± 0,516	0,6 ± 0,516	<b>0,5 ± 0,527 s</b>	0,8 ± 0,447
<b>Gruppe 3</b> n = 10 Wurzelkanäle	0,4 ± 0,516	<b>0,4 ± 0,699 s</b>	<b>0,2 ± 0,422 s</b>	0,4 ± 0,516	0,7 ± 0,483	0,6 ± 0,516
<b>Gruppe 4</b> n = 10 Wurzelkanäle	0,8 ± 0,632	0,8 ± 0,422	0,9 ± 0,568	0,9 ± 0,316	0,8 ± 0,789	0,9 ± 0,738

\* **Gruppe 1:** Modifizierte „Balanced-force-Technik“, K-Flexoreamer und K-Flexofile, Taper = .02/Manuell, **Gruppe 2:** Modifizierte „Crown-down-Technik“, FlexMaster und K3, Taper > .02/Maschinell, **Gruppe 3:** „Step-back-Technik“, Edelstahl-ENDOfash, und Nickel-Titan-ENDOfash, Taper = .02/Maschinell, **Gruppe 4:** Modifizierte „Crown-down-Technik“, Edelstahl-ENDOfash und Nickel-Titan-ENDOfash, Taper = .02/Maschinell

**Tabelle 15:** Zur Oberflächenbeschaffenheit ( $\bar{x} \pm SD$ ) der Wurzelkanäle – Kombination IV\* (Methoden/Taper .02 – Methoden/Taper .02-.06)

Gruppen	Wurzelkanal		Mitte		Apikal	
	Koronal Innen	Außen	Innen	Außen	Innen	Außen
<b>Gruppe 1</b> n = 10 Wurzelkanäle	1,1 ± 0,316	1,3 ± 0,483	1,4 ± 0,516	1,2 ± 0,422	<b>1,2 ± 0,422 s</b>	2,2 ± 0,422
<b>Gruppe 2</b> n = 10 Wurzelkanäle	1,0 ± 0	1,0 ± 0	1,0 ± 0	1,2 ± 0,422	<b>1,0 ± 0 s</b>	<b>1,4 ± 0,516 s</b>
<b>Gruppe 3</b> n = 10 Wurzelkanäle	1,1 ± 0,316	1,1 ± 0,316	1,2 ± 0,422	1,0 ± 0	1,5 ± 0,527	1,8 ± 0,422
<b>Gruppe 4</b> n = 10 Wurzelkanäle	1,3 ± 0,483	1,1 ± 0,316	1,2 ± 0,422	1,3 ± 0,483	1,9 ± 0,316	2,0 ± 0

\* **Gruppe 1:** Modifizierte „Balanced-force-Technik“, K-Flexoreamer und K-Flexofile, Taper = .02/Manuell, **Gruppe 2:** Modifizierte „Crown-down-Technik“, FlexMaster und K3, Taper > .02/Maschinell, **Gruppe 3:** „Step-back-Technik“, Edelstahl-ENDOfash, und Nickel-Titan-ENDOfash, Taper = .02/Maschinell, **Gruppe 4:** Modifizierte „Crown-down-Technik“, Edelstahl-ENDOfash und Nickel-Titan-ENDOfash, Taper = .02/Maschinell

**Tabelle 16:** Zur Schmierschicht ( $\bar{x} \pm SD$ ) der Wurzelkanäle – Kombination IV\* (Methoden/Taper .02 – Methoden/Taper .02-.06)

Gruppen	Wurzelkanal		Mitte		Apikal	
	Koronal Innen	Außen	Innen	Außen	Innen	Außen
<b>Gruppe 1</b> n = 10 Wurzelkanäle	<b>0,8 ± 0,632 s</b>	0,9 ± 0,316	<b>1,4 ± 0,516 s</b>	<b>0,6 ± 0,516 s</b>	2,0 ± 0,816	<b>1,4 ± 0,516 s</b>
<b>Gruppe 2</b> n = 10 Wurzelkanäle	1,6 ± 0,699	1,4 ± 0,516	2,0 ± 0,471	1,7 ± 0,483	2,5 ± 0,527	2,5 ± 0,527
<b>Gruppe 3</b> n = 10 Wurzelkanäle	1,2 ± 0,632	<b>0,4 ± 0,516 s</b>	1,5 ± 1,08	<b>0,8 ± 0,632 s</b>	<b>1,5 ± 0,707 s</b>	<b>1,5 ± 0,527 s</b>
<b>Gruppe 4</b> n = 10 Wurzelkanäle	1,3 ± 0,675	0,9 ± 0,568	<b>1,3 ± 0,675 s</b>	1,4 ± 0,843	1,9 ± 0,568	2,1 ± 0,568

\* **Gruppe 1:** Modifizierte „Balanced-force-Technik“, K-Flexoreamer und K-Flexofile, Taper = .02/Manuell, **Gruppe 2:** Modifizierte „Crown-down-Technik“, FlexMaster und K3, Taper > .02/Maschinell, **Gruppe 3:** „Step-back-Technik“, Edelstahl-ENDOfash, und Nickel-Titan-ENDOfash, Taper = .02/Maschinell, **Gruppe 4:** Modifizierte „Crown-down-Technik“, Edelstahl-ENDOfash und Nickel-Titan-ENDOfash, Taper = .02/Maschinell

**Tabelle 17:** Zum *Foramen apicale* ( $\bar{x} \pm SD$ ) der Wurzelkanäle – Kombination IV\*  
(Methoden/Taper .02 – Methoden/Taper .02-.06)

Gruppen	Foramen apicale
<b>Gruppe 1</b> n = 10 Wurzelkanäle	1,2 $\pm$ 0,632
<b>Gruppe 2</b> n = 10 Wurzelkanäle	0,6 $\pm$ 0,516
<b>Gruppe 3</b> n = 10 Wurzelkanäle	<b>0,4 <math>\pm</math> 0,516 s</b>
<b>Gruppe 4</b> n = 10 Wurzelkanäle	0,7 $\pm$ 0,483

\* **Gruppe 1:** Modifizierte „*Balanced-force-Technik*“, *K-Flexoreamer* und *K-Flexofile*, Taper = .02/Manuell, **Gruppe 2:** Modifizierte „*Crown-down-Technik*“, *FlexMaster* und *K3*, Taper > .02/Maschinell, **Gruppe 3:** „*Step-back-Technik*“, *Edelstahl-ENDOfash*, und *Nickel-Titan-ENDOfash*, Taper = .02/Maschinell, **Gruppe 4:** Modifizierte „*Crown-down-Technik*“, *Edelstahl-ENDOfash* und *Nickel-Titan-ENDOfash*, Taper = .02/Maschinell

## **Danksagung**

---

Herrn Prof. Dr. E. Glockmann danke ich herzlich für die Überlassung des Promotionsthemas, die Betreuung der Promotionsarbeit und für seine wertvollen Ratschläge bei der Erstellung der Promotionsschrift.

Ebenso danke ich Frau Prof. Dr. S. Kneist herzlich für ihre freundschaftliche Unterstützung und engagierte Manuskriptdurchsicht.

Herrn Dr. R. Vollandt danke ich für die Beratung zur statistischen Aufarbeitung des Datenmaterials und weiterhin den Mitarbeitern des elektronenmikroskopischen Zentrums für die engagierte Unterstützung bei den rasterelektronenmikroskopischen Arbeiten.



## Lebenslauf

---

### Persönliche Daten:

Name	Berit Muselmani, geb. Kunze
Geburtsdaten	09.02.1966 in Kahla
Nationalität	Deutsch
Familienstand	Verheiratet, 1 Kind

### Ausbildung:

1972 – 1982	Polytechnische Oberschule Erich-Weinert, Jena
1982 – 1985	Medizinische Fachschule Salvador Allende, Gera Ausbildung zum Zahntechniker
1986 – 1989	Abiturlehrgang an der Volkshochschule Pablo Neruda, Jena
1992 – 1997	Studium der Zahnmedizin an der Tishreen- Universität, Latakia/Syrien
1997	Abschluss des Zahnärztlichen Staatsexamens an der Tishreen-Universität, Latakia/Syrien und Erlangung der syrischen Approbation
2003	Zahnärztliche Prüfung durch die Kommission der Thüringer Zahnärztekammer (Gleichwertigkeits- prüfung) und Erlangung der deutschen Approbation

### **Berufliche Tätigkeiten:**

1997 – 2000	Assistenz Zahnärztin in Zahnarztpraxis Prof. Dr. M. B. Muselmani in Latakia/Syrien
1998 – 2000	Assistenz Zahnärztin und wissenschaftliche Mitarbeiterin an der Tishreen-Universität Latakia/Syrien
2003 – 2005	Wissenschaftliche Hilfskraft im klinisch – konservierenden Kurs für Zahnmediziner am Klinikum der FSU Jena
Seit April 2005	Assistenz Zahnärztin und wissenschaftliche Mitarbeiterin an der Poliklinik für Konservierende Zahnheilkunde am Klinikum der FSU Jena
14.02.2007	Anerkennung des Tätigkeitsschwerpunktes Endodontie durch die Landes Zahnärztekammer Thüringen

Jena, den 18. März 2007

Berit Muselmani

## **Ehrenwörtliche Erklärung**

---

Hiermit erkläre ich, dass mir die Promotionsordnung der Medizinischen Fakultät der Friedrich-Schiller-Universität bekannt ist,

ich die Dissertation selbst angefertigt habe und alle von mir benutzten Hilfsmittel, persönlichen Mitteilungen und Quellen in meiner Arbeit angegeben sind,

mich folgende Personen bei der Auswahl und Auswertung des Materials sowie bei der Herstellung des Manuskripts unterstützt haben:

Prof. Dr. Eike Glockmann, Prof. Dr. Susanne Kneist und Dr. Rüdiger Vollandt,

die Hilfe eines Promotionsberaters nicht in Anspruch genommen wurde und dass Dritte weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen von mir für Arbeiten erhalten haben, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen,

dass ich die Dissertation noch nicht als Prüfungsarbeit für eine staatliche oder andere wissenschaftliche Prüfung eingereicht habe und

dass ich die gleiche, eine in wesentlichen Teilen ähnliche oder eine andere Abhandlung nicht bei einer anderen Hochschule als Dissertation eingereicht habe.

Jena, den 18. März 2007

Berit Muselmani